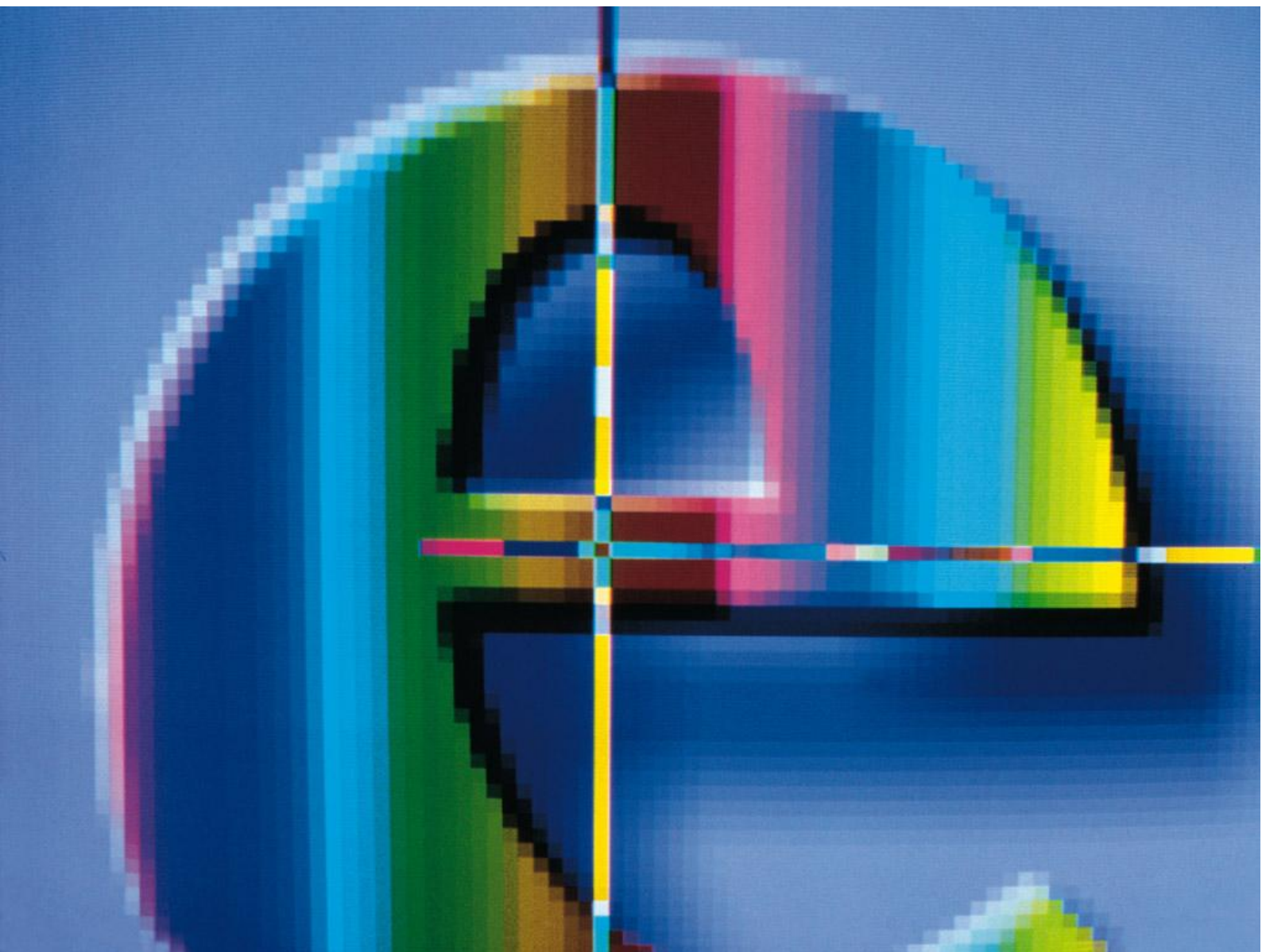


**UMJERAVANJE AUTOMATSKIH
MJERNIH SUSTAVA ZA
KONTINUIRANO MJERENJE
EMISIJA U ZRAK TE PLOMIN 2**



Zagreb, 2025.



Naručitelj:

HEP PROIZVODNJA d.o.o.

Sektor za termoelektrane

Pogon TE Plomin

Plomin luka 50

52234 Plomin Luka

Radni nalog:

I-02-2234_20

Naslov:

**UMJERAVANJE AUTOMATSKIH MJERNIH SUSTAVA
ZA KONTINUIRANO MJERENJE EMISIJA U ZRAK TE PLOMIN 2**

Ispitivanja proveli:

Andrej Slavica, mag. ing. mech.

Borna Glückselig, mag. ing. agr.

Darko Glückselig, teh.

Obrada rezultata mjerenja:

Andrej Slavica, mag. ing. mech.

Direktor odjela za mjerenja i analitiku:

Bojan Abramović, dipl. ing.

Direktor:

Elvis Cukon, dipl. ing. stroj., MBA

Zagreb, 23. 10. 2025.

SADRŽAJ

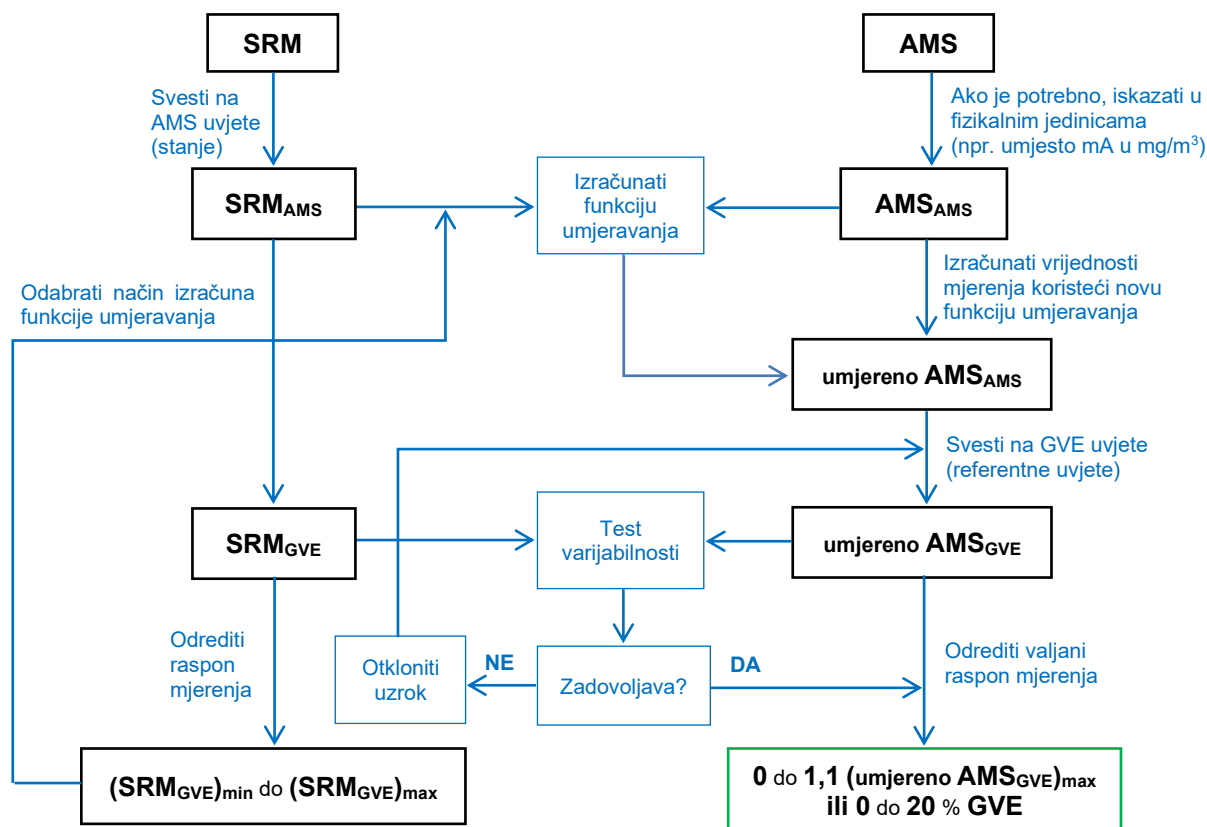
1. UVOD	2
2. AUTOMATSKI MJERNI SUSTAVI	3
2.1. MJERNI UREĐAJI.....	5
2.1.1. Mjerenje temperature dimnih plinova Pt100 osjetnikom	5
2.1.2. Mjerenje brzine uređajem DURAG D-FL 220.....	5
2.1.3. Mjerenje emisije krutih čestica uređajem DURAG D-R 320.....	6
2.1.4. Mjerenje CO, NO, SO ₂ i O ₂ analizatorom Siemens ULTRAMAT 23	7
2.2. AMS RAČUNALO	8
3. REZULTATI	9
3.1. MJERNI PRESJEK PRIJE REA	11
3.1.1. Mjerenje temperature uređajem Pt100.....	14
3.1.2. Mjerenje O ₂ uređajem Siemens ULTRAMAT 23	16
3.1.3. Provjera konstante vlažnosti dimnih plinova	18
3.1.4. Mjerenje emisije krutih čestica uređajem DURAG D-R 320.....	20
3.1.5. Mjerenje brzine i protoka uređajem DURAG D-FL 220.....	23
3.1.6. Mjerenje NO _x uređajem Siemens ULTRAMAT 23	26
3.1.7. Mjerenje SO ₂ uređajem Siemens ULTRAMAT 23.....	28
3.1.8. Mjerenje CO uređajem Siemens ULTRAMAT 23.....	30
3.2. MJERNI PRESJEK NAKON REA	32
3.2.1. Mjerenje temperature uređajem Pt100.....	34
3.2.2. Mjerenje O ₂ uređajem Siemens ULTRAMAT 23	36
3.2.3. Provjera konstante vlažnosti dimnih plinova	38
3.2.4. Mjerenje emisije krutih čestica uređajem DURAG D-R 320.....	40
3.2.5. Mjerenje NO _x uređajem Siemens ULTRAMAT 23	42
3.2.6. Mjerenje SO ₂ uređajem Siemens ULTRAMAT 23.....	44
3.2.7. Mjerenje CO uređajem Siemens ULTRAMAT 23.....	46
4. ZAKLJUČAK.....	48
<u>KRATICE I INDEKSI</u>	50
<u>POJMOVNIK</u>.....	52

PRILOG

- A. L1-I-02-2234_20/25 EKONERG - *Laboratorij za mjerenje emisija: Izvještaj o mjerenju emisija iz mjernih presjeka prije i nakon postrojenja za odsumporavanje dimnih plinova TE Plomin 2, 23. listopada 2025.*

1. UVOD

Umjeravanje uređaja automatskih mjernih sustava (AMS) za kontinuirano mjerenje emisija u dimovodnim kanalima prije i nakon postrojenja za odsumporavanje dimnih plinova TE Plomin 2 (AMS prije REA i AMS nakon REA) provedena su 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 i tab. 2.



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

Tab. 1: Pregled AMS uređaja TE Plomin 2 - mjerni presjek prije postrojenja za odsumporavanje dimnih plinova (AMS prije REA)

Mjerena veličina		AMS uređaj
Vlažni plinovi (stanje u ispustu)	protok (brzina), Q	DURAG D-FL 220 (serijski broj: 1265313) DURAG D-FL 220 (serijski broj: 1291403) ¹⁾
	temperatura, ϑ	termometar Pt100
	krute čestice, PM	DURAG D-R 320 (serijski broj: 1253255)
	vlažnost plinova, H_2O	konstanta (8,4 %) u algoritmu emisijskog računala DURAG D-EMS 2000
Suhi plinovi (normirano stanje)	ugljikov monoksid, CO	ekstraktivni višekomponentni analizatorski sustav Siemens ULTRAMAT 23 (serijski broj: N1H9453)
	dušikov monoksid, NO	
	sumporov dioksid, SO_2	
	kisik, O_2	

¹⁾ sekundarni uređaj za mjerenje protoka (brzine) dimnih plinova

Tab. 2: Pregled AMS uređaja TE Plomin 2 - mjerni presjek nakon postrojenja za odsumporavanje dimnih plinova (AMS nakon REA)

Mjerena veličina		AMS uređaj
Vlažni plinovi (stanje u ispuštu)	temperatura, ϑ	termometar Pt100
	krute čestice, PM	DURAG D-R 320 (serijski broj: 1247031)
	vlažnost plinova, H_2O	konstanta (10 %) u algoritmu emisijskog računala DURAG D-EMS 2000
Suhi plinovi (normirano stanje)	ugljikov monoksid, CO	ekstraktivni višekomponentni analizatorski sustav Siemens ULTRAMAT 23 (serijski broj: N1K9381)
	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).

Kontrolna mjerenja: volumnog udjela vodene pare u dimnim plinovima (H_2O , %), brzine dimnih plinova (v , m/s), temperature dimnih plinova (ϑ , °C), masene koncentracije krutih čestica u dimnim plinovima (PM , mg/m³), 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 (mzozt.gov.hr).

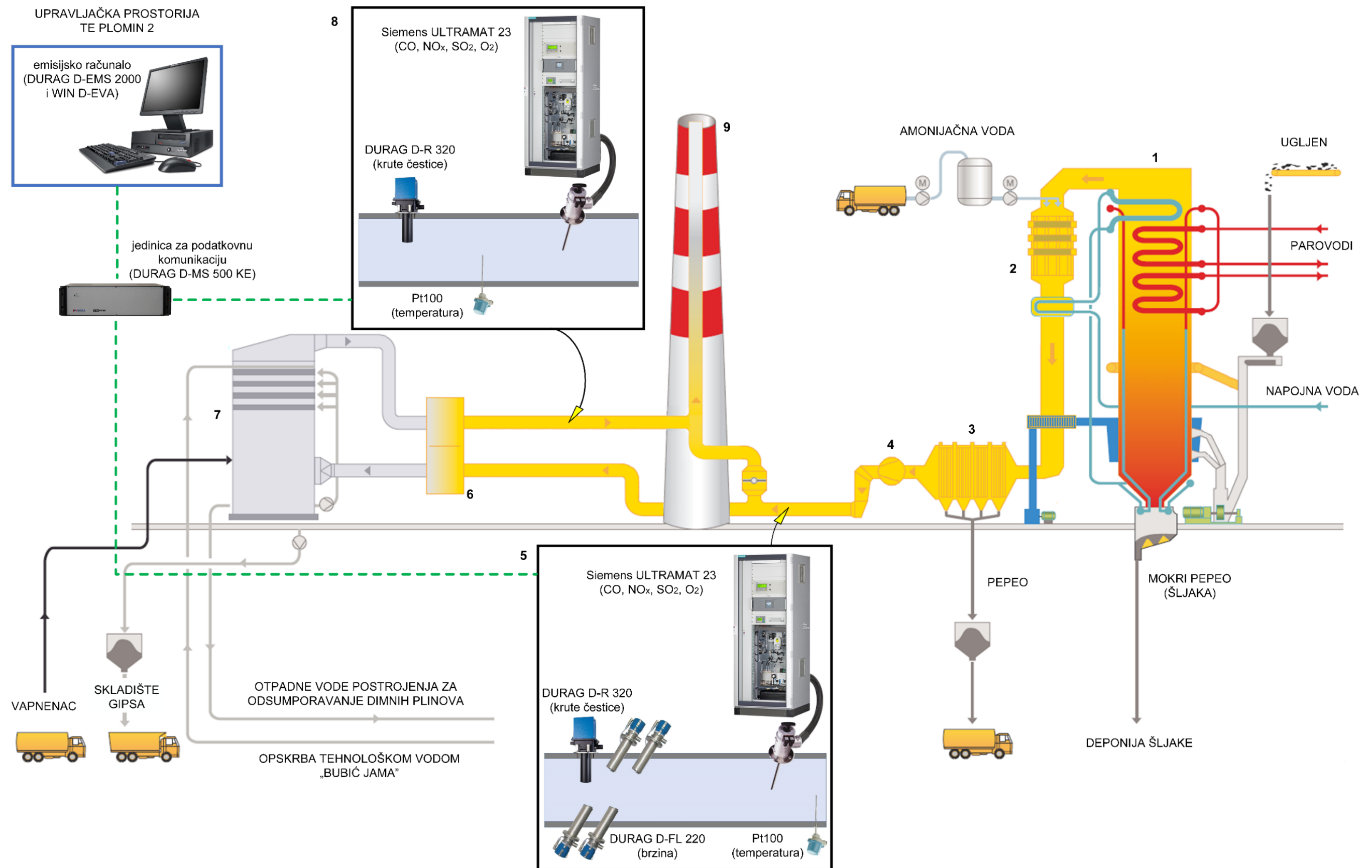
Opis postrojenja TE Plomin 2, tehničke značajke izvora emisija, primijenjene metode mjerenja i korišteni kontrolni mjerni uređaji te rezultati kontrolnih mjerenja dani su u izvještaju *Laboratorija za mjerenje emisija* u **Prilogu A**. Sastavni dio izvještaja *Laboratorija za mjerenje emisija* je i plan mjerenja u kojem je opisan izgled mjernih mjesta, oblik i dimenzije mjernih presjeka, broj mjernih linija i raspored točaka mjerenja po mjernoj ravnini svakog mjernog presjeka.

2. AUTOMATSKI MJERNI SUSTAVI

Automatski mjerni sustavi TE Plomin 2 obuhvaćaju uređaje za kontinuirano mjerenje emisija u dimovodnim kanalima prije i nakon postrojenja za odsumporavanje dimnih plinova (njem. *Rauchgasentschwefelungsanlagen* - REA; tzv. **AMS prije REA** i **AMS nakon REA**).

Izmjereni signali AMS uređaja se putem sustava za prijenos i pretvorbu podataka prosljeđuju zajedničkom računalu koje je smješteno u upravljačkoj prostoriji TE Plomin 2 gdje se vrši obrada, prikaz, izvješćivanje i pohrana izmjerenih emisijskih veličina. Shematski prikaz parnog kotla TE Plomin 2, sustava odvodnje i obrade dimnih plinova te uređaja automatskih mjernih 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*.



Sl. 2: Shematski prikaz parnog kotla, sustava odvodnje i obrade dimnih plinova i uređaja automatskih mjernih sustava TE Plomin 2

1: parni kotao; 2: reaktor za selektivnu katalitičku redukciju dušikovih oksida (SCR DeNO_x uređaj); 3: elektrostatski otprašivač; 4: ventilator dimnih plinova; 5: automatski mjerni sustav prije postrojenja za odsumporavanje dimnih plinova (AMS prije REA); 6: regenerativni zagrijač dimnih plinova (REGAVO); 7: postrojenje za odsumporavanje dimnih plinova (REA); 8: automatski mjerni sustav nakon postrojenja za odsumporavanje dimnih plinova (AMS nakon REA); 9: ispušni Z1 dimnih plinova (dimnjak)

2.1. Mjerni uređaji

Za mjerenje volumnih udjela plinovitih tvari u oba mjerna presjeka koristi se ekstraktivna metoda, dok se masena koncentracija krutih čestica, brzina i temperatura dimnih plinova mjeri izravno u dimovodnim kanalima (engl. *on site*, lat. *in-situ*). Postavke mjernih uređaja dane su tab. 3 i tab. 4.

Tab. 3: Postavke AMS uređaja prije REA (29. listopada 2025.)

Emisijska veličina	Proporcionalnost analognog signala 4 - 20 mA	Kalibracijski koeficijenti uređaja	Napomena
CO	0 - 1 000 mg/m ³ _{sdp}	-	Siemens ULTRAMAT 23 ima mogućnost korištenja dva mjerna raspona. Za sva mjerenja koristi se drugi mjerni raspon čije postavke su dane u tablici.
NO	0 - 2 000 mg/m ³ _{sdp}	-	
SO ₂	0 - 2 000 mg/m ³ _{sdp}	-	
O ₂	0 - 21 % _{sdp}	-	
θ	0 - 200 °C	-	-
PM	0 - 200 mg/m ³ _{isp}	$a_0 = 0; a_1 = 0,0175$	$PM = a_0 + a_1 \cdot SL$; $SL = \text{engl. StrayLight}$
Q	0 - 1 500 000 m ³ _{isp} /h	$a_0 = 0; a_1 = 1,0305; a_2 = 0; a_3 = 0$	$Q_{\text{cal}} = a_0 + a_1 \cdot Q + a_2 \cdot Q^2 + a_3 \cdot Q^3$
Q _{sekundarni}	-	-	Uređaj je bio neispravan.

Tab. 4: Postavke AMS uređaja nakon REA (29. listopada 2025.)

Emisijska veličina	Proporcionalnost analognog signala 4 - 20 mA	Kalibracijski koeficijenti uređaja	Napomena
CO	0 - 1 000 mg/m ³ _{sdp}	-	Siemens ULTRAMAT 23 ima mogućnost korištenja dva mjerna raspona. Za sva mjerenja koristi se drugi mjerni raspon čije postavke su dane u tablici.
NO	0 - 2 000 mg/m ³ _{sdp}	-	
SO ₂	0 - 2 000 mg/m ³ _{sdp}	-	
O ₂	0 - 21 % _{sdp}	-	
θ	0 - 200 °C	-	-
PM	0 - 200 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 temperature dimnih plinova Pt100 osjetnikom

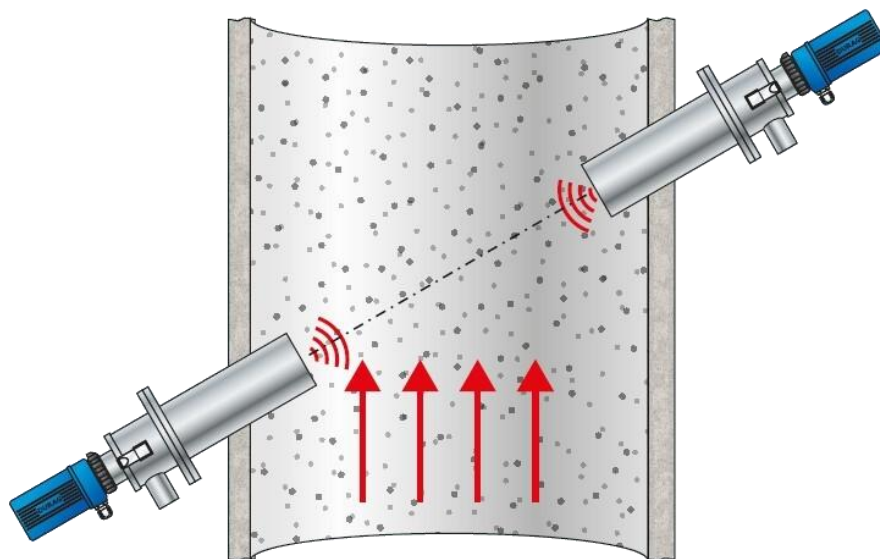
Mjerenje temperature dimnih plinova vrši se u dimovodnim kanalima prije i nakon postrojenja za odsumporavanje dimnih plinova (AMS prije REA i AMS nakon REA) otpornim termometrima Pt100.

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 električna struja koja generira pad napona ovisan o otporu, a time i o temperaturi. Mjerenjem naponskog signala za poznatu struju izračunava se otpor, odnosno temperatura. Kako se uslijed prolaska električne struje kroz osjetnik razvija Jouleova toplina, dolazi do povišenja temperature samog otpornog elementa zbog čega je temperatura koja se detektira osjetnikom veća od stvarne temperature medija. Greška uslijed samozagrijavanja ovisi o izvedbi otpornog osjetnika (klasi), a može se kretati od zanemarivih vrijednosti pa do 1 °C.

2.1.2. Mjerenje brzine uređajem DURAG D-FL 220

Mjerenje brzine (protoka) dimnih plinova vrši se u dimovodnom kanalu prije postrojenja za odsumporavanje dimnih plinova (AMS prije REA) ultrazvučnim neekstraktivnim (lat. *in-situ*) uređajem DURAG D-FL 220 koji je shematski prikazan na sl. 3.

Početkom 2021. godine na istom segmentu dimovodnog kanala ugrađen je još jedan DURAG D-FL 220 koji služi kao sekundarni (rezervni) uređaj za mjerenje brzine (protoka) dimnih plinova.



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 prijemniku) i prijemnika (detektira ultrazvučni val koji kroz ispust odašilje nasuprotno smješteni odašiljač).

Ultrazvučni val koji je odaslan u smjeru strujanja ima veću brzinu od ultrazvučnog vala koji je odaslan 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 odaslan 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:

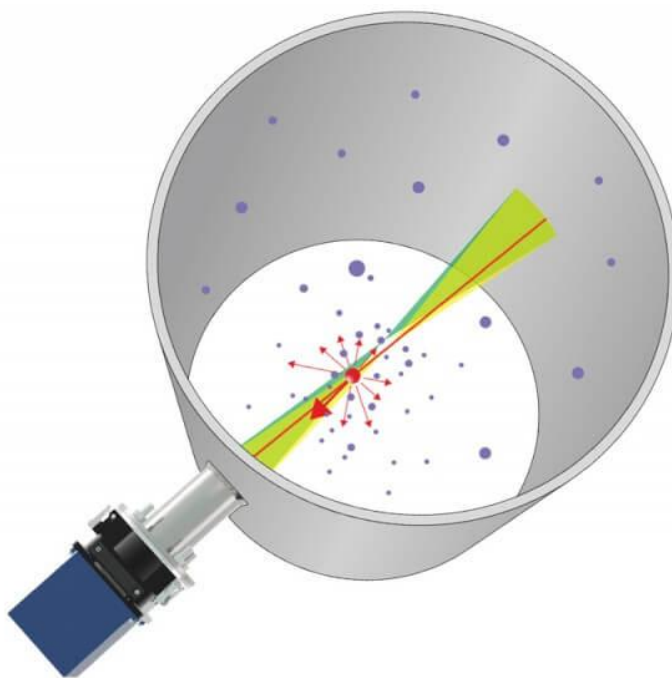
$$v = \frac{L}{2 \cdot \cos \alpha} \cdot \frac{t_u - t_d}{t_u \cdot t_d}, \quad (1)$$

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.

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

Mjerenje masene koncentracije krutih čestica vrši se u dimovodnim kanalima prije i nakon postrojenja za odsumporavanje dimnih plinova (AMS prije REA i AMS nakon REA) optičkim neekstraktivnim (lat. *in-situ*) uređajima DURAG D-R 320 koji 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.

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

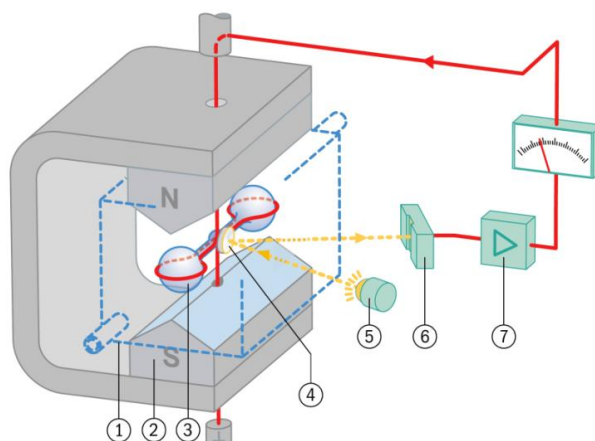
Mjerenje volumnih udjela CO, NO (NO_x kao NO), SO₂ i O₂ u suhim dimnim plinovima uzorkovanih prije i nakon postrojenja za odsumporavanje dimnih plinova (AMS prije REA i AMS nakon REA) vrši se pomoću višekomponentnih analizatora ekstraktivnog tipa Siemens ULTRAMAT 23 koji je prikazan na sl. 5.



Sl. 5: Siemens ULTRAMAT 23

Siemens ULTRAMAT 23 mjeri volumne udjele CO , NO i SO_2 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 O_2 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 O_2 .



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. AMS RAČUNALO

Mjerni uređaji oba mjerna sustava povezani su analognom vezom (putem jedinice za podatkovnu komunikaciju DURAG D-MS 500 KE) sa zajedničkim AMS računalom (emisijsko računalno s programom DURAG D-EMS 2000 i WIN D-EVA).

AMS računalno 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 i ϑ) lineariziran, to znači da su i digitalni signali ovih veličina također linearni. Stoga za izračun tzv. „sirovih“ fizikalnih veličina računalno koristi jednadžbe pravca (tzv. regresijske pravce) koji se određuju umjeravanjem. Računalno vrši preračun „sirovih“ fizikalnih emisijskih veličina na referentne uvjete koji odgovaraju volumenu suhih plinova ($H_2O = 0\%$) kod referentnog sadržaja kisika ($O_2 = 6\%$) pri $0^\circ C$ i 1013,25 hPa. Računalno potom računa tzv. provjerene vrijednosti emisija tako što od važećih³ vrijednosti emisija svedenih na referentne uvjete oduzme mjernu nesigurnost. Ovako izračunate provjerene srednje satne vrijednosti se koriste za daljnji izračun prosječnih vrijednosti koje se potom uspoređuju s graničnim vrijednostima emisija (GVE). Postavke algoritma za izračun emisijskih veličina dane su u tab. 5. Tumač oznaka mjernih jedinica (npr. $\%_{sdp}$, m^3_{isp}) dan je u poglavlju KRATICE I INDEKSI.

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.

³ Izuzimaju se vrijednosti izmjerene tijekom upuštanja u rad i prestanka rada postrojenja.

Tab. 5: Izračun emisijskih veličina u algoritmu emisijskog računala (29. listopada 2025.)

Mjerni sustav	Mjerena veličina	Proporcionalnost analognog signala 4 - 20 mA	Izračun mjerene („sirove“) vrijednosti	Korekcijski koeficijenti za svođenje na referentne (GVE) uvjete		
				k_{O_2}	k_{H_2O}	k_{ϑ}
AMS prije REA	CO	0 - 1 000 mg/m ³ _{sdp}	CO = 62,5 · (mA) - 250	DA	-	-
	NO	0 - 2 150 mg/m ³ _{sdp}	NO = 134,3625 · (mA) - 537,45	-	-	-
	NO _x	-	NO _x = NO · 1,53	DA	-	-
	SO ₂	0 - 2 149 mg/m ³ _{sdp}	SO ₂ = 134,2875 · (mA) - 537,15	DA	-	-
	O ₂	0 - 21 % _{sdp}	O ₂ = 1,3125 · (mA) - 5,25	-	-	-
	ϑ	0 - 200 °C	ϑ = 12,5 · (mA) - 50	-	-	-
	PM	0 - 200 mg/m ³ _{isp}	PM = 12,5 · (mA) - 50	DA	DA	DA
	Q	0 - 1 500 000 m ³ _{isp} /h	Q = 93 750 · (mA) - 375 000	DA	DA	DA
	H ₂ O	-	H ₂ O = 8,4 %	-	-	-
AMS nakon REA	CO	0 - 1 000 mg/m ³ _{sdp}	CO = 62,5 · (mA) - 250	DA	-	-
	NO	0 - 2 000 mg/m ³ _{sdp}	NO = 125 · (mA) - 500	-	-	-
	NO _x	-	NO _x = NO · 1,53	DA	-	-
	SO ₂	0 - 2 832 mg/m ³ _{sdp}	SO ₂ = 176,975 · (mA) - 707,9	DA	-	-
	O ₂	0 - 21 % _{sdp}	O ₂ = 1,3125 · (mA) - 5,25	-	-	-
	ϑ	0 - 200 °C	ϑ = 12,5 · (mA) - 50	-	-	-
	PM	0 - 200 mg/m ³ _{isp}	PM = 12,5 · (mA) - 50	DA	DA	DA
	H ₂ O	-	H ₂ O = 10 %	-	-	-

OZNAKE UZ KOREKCIJSKE KOEFICIJENTE

DA: korekcijski koeficijent se koristi i treba ga koristiti,

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

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

Preračun koncentracija plinovitih onečišćujućih tvari (CO, NO_x i SO₂) na referentne uvjete vrši se množenjem izmjerene (tzv. „sirove“) vrijednosti s korekcijskim koeficijentom k_{O_2} . Preračun koncentracije krutih čestica (PM) na referentne uvjete vrši se množenjem izmjerene vrijednosti s koeficijentima k_{ϑ} , k_{H_2O} i k_{O_2} , a preračun protoka dimnih plinova (Q) na referentne uvjete vrši se dijeljenjem izmjerene vrijednosti s koeficijentima k_{ϑ} , k_{H_2O} i k_{O_2} . Pri tome se korekcijski koeficijenti računaju na sljedeći način:

$$k_{O_2} = \frac{21 \% - 6 \%}{21 \% - O_2}; \quad k_{H_2O} = \frac{100 \%}{100 \% - H_2O}; \quad k_{\vartheta} = \frac{\vartheta + 273,15}{273,15}, \quad (2)$$

gdje je:

O₂; %; volumni udio kisika u suhim dimnim plinovima,H₂O; %; volumni udio vodene pare (vlage) u vlažnim dimnim plinovima,

ϑ; °C; temperatura dimnih plinova.

3. REZULTATI

Zadatak umjeravanja (QAL2) je, temeljem rezultata paralelnih mjerenja AMS i SRM uređaja, statistički odrediti regresijske pravce pojedinog AMS uređaja i primjenom testa varijabilnosti utvrditi zadovoljava li AMS uređaj zakonom propisanu mjernu nesigurnost (σ_0).

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

$$u_\theta = \sqrt{\left(\frac{2,6 \text{ °C}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{4,0 \text{ °C}}{\sqrt{3}}\right)^2} = 2,75 \text{ °C}, \quad (4)$$

gdje je:

- u_θ ; °C; kombinirana mjerna nesigurnost AMS uređaja Pt100 za mjerenje temperature dimnih plinova u ispustu,
- 2,6 °C; granična greška otpornog termometra Pt100 klase C kod 200 °C prema IEC 60751:2009⁴,
- 4,0 °C; procijenjena granična greška uređaja za prijenos i obradu signala otpornog termometra Pt100.

Radi određivanja intervala pouzdanosti AMS uređaja za mjerenje brzine, korištena je dozvoljena kombinirana mjerna nesigurnost AMS uređaja DURAG D-FL 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:

$$u_Q = \frac{7,5 \% \cdot 144\,400 \text{ m/h} \cdot 15,504 \text{ m}^2}{1,96} = 85\,430 \text{ m}^3_{\text{isp}}/\text{h}, \quad (5)$$

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),
- 15,504 m²; površina poprečnog mjernog presjeka dimovodnog kanala (AMS prije REA).

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

Pregled korištenih mjernih nesigurnosti dan je u tab. 6. Rezultati QAL2 su dani u nastavku po mjernim presjecima i AMS uređajima.

Tab. 6: Propisane i korištene mjerne nesigurnosti pojedinih AMS mjerenih veličina

Mjerni sustav	Veličina	GVE	P	Mjerni raspon	Proširena mjerna nesigurnost	σ_0
AMS prije REA	H_2O	30 % _{vdp} ¹⁾	10 %	0 - 200 °C	± 3,0 % _{vdp}	± 1,53 % _{vdp}
	ϑ					± 2,75 °C
	O_2	21 % _{sdp} ¹⁾	10 %		± 2,1 % _{sdp}	± 1,07 % _{sdp}
	CO	50 mg/m ³ _{ref}	10 %	2 000 mg/m ³ _{sdp}	± 5 mg/m ³ _{ref}	± 2,55 mg/m ³ _{ref}
	NO_x	200 mg/m ³ _{ref}	20 %		± 40 mg/m ³ _{ref}	± 20,41 mg/m ³ _{ref}
	SO_2		15 % ²⁾			± 153,06 mg/m ³ _{ref}
	PM	20 mg/m ³ _{ref}	30 %		± 6 mg/m ³ _{ref}	± 3,06 mg/m ³ _{ref}
AMS nakon REA	H_2O	30 % _{vdp} ¹⁾	10 %	0 - 200 °C	± 3,0 % _{vdp}	± 1,53 % _{vdp}
	ϑ					± 2,75 °C
	O_2	21 % _{sdp} ¹⁾	10 %		± 2,1 % _{sdp}	± 1,07 % _{sdp}
	CO	50 mg/m ³ _{ref}	10 %		± 5 mg/m ³ _{ref}	± 2,55 mg/m ³ _{ref}
	NO_x	200 mg/m ³ _{ref}	20 %		± 40 mg/m ³ _{ref}	± 20,41 mg/m ³ _{ref}
	SO_2	200 mg/m ³ _{ref}	20 %		± 40 mg/m ³ _{ref}	± 20,41 mg/m ³ _{ref}
	PM	20 mg/m ³ _{ref}	30 %		± 6 mg/m ³ _{ref}	± 3,06 mg/m ³ _{ref}

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*

²⁾ Prema HRN EN 15267-3:2008 dozvoljena proširena mjerna nesigurnost je 15 % GVE. Umjesto GVE korišten je mjerni raspon.

3.1. MJERNI PRESJEK PRIJE REA

2., 3. i 4. listopada 2025. godine EKONERG-ov Laboratorij za mjerenje emisija je u mjernom presjeku prije REA izvršio petnaest paralelnih mjerenja (M1-M15): temperature (ϑ), volumnog udjela vodene pare (H_2O), protoka dimnih plinova (Q), masene koncentracije krutih čestica (PM) i volumnih udjela SO_2 , CO , NO_x i O_2 u suhim dimnim plinovima. Izmjerene vrijednosti sekundarnog AMS uređaja za mjerenje protoka nisu prikupljene jer je uređaj bio neispravan. Pregled izmjerenih, tzv. „sirovih“, vrijednosti paralelnih mjerenja SRM i AMS uređaja dan je u tab. 7 i tab. 8.

Tab. 7: Emisije iz mjernog presjeka prije REA izmjerene SRM uređajima

SRM (prije REA)	ϑ	H_2O	Q	PM	O_2	CO	NO_x kao NO	SO_2
	°C	% _{vdp}	m ³ _{isp} /h	mg/m ³ _{isp}	% _{sdp}	mg/m ³ _{sdp}	mg/m ³ _{sdp}	mg/m ³ _{sdp}
M1	138	7,05	1 140 282	12,6	6,02	15,8	81	1 102
M2	138	8,09	1 130 847	11,9	5,94	16,5	78	1 136
M3	138	7,07	1 110 986	13,8	5,86	17,8	82	1 179
M4	138	7,75	1 135 434	13,5	5,94	17,4	77	1 192
M5	139	7,13	1 145 906	14,1	6,03	17,1	81	1 182
M6	139	7,84	1 141 642	14,2	5,90	16,7	71	1 166
M7	139	8,24	1 130 917	13,5	5,90	16,8	72	1 171
M8	139	7,22	1 140 471	11,1	5,99	16,5	77	1 175
M9	139	7,29	1 152 183	14,8	6,04	16,4	79	1 182
M10	140	7,22	1 152 279	14,6	6,09	16,5	87	1 184
M11	139	7,39	1 147 137	18,7	6,14	16,3	68	1 181
M12	138	8,21	1 130 028	13,6	5,52	19,9	71	1 191
M13	139	8,51	1 147 838	12,9	5,72	19,2	76	1 179
M14	139	7,88	1 140 410	13,7	5,81	18,6	77	1 172
M15	139	7,89	1 140 374	13,8	5,84	18,8	79	1 164

Tab. 8: Emisije iz mjernog presjeka prije REA izmjerene AMS uređajima

AMS (prije REA)	ϑ	Q	$Q_{\text{sekundarni}}$	PM	O_2	CO	NO_x kao NO	SO_2
	°C	m^3_{isp}/h	m^3_{isp}/h	mg/m^3_{isp}	%sdp	$mg/m^3_{\text{n sdp}}$	$mg/m^3_{\text{n sdp}}$	$mg/m^3_{\text{n sdp}}$
M1	139	1 214 476	-	34,9	6,01	14,4	89	1 196
M2	139	1 140 994	-	34,6	5,95	15,4	88	1 210
M3	139	1 170 319	-	36,8	5,86	16,5	92	1 240
M4	140	1 195 154	-	37,5	5,93	16,5	87	1 241
M5	140	1 214 350	-	38,6	6,02	16,5	91	1 240
M6	140	1 110 691	-	38,7	5,93	16,3	82	1 210
M7	140	1 153 904	-	39,3	5,93	16,7	84	1 219
M8	141	1 201 509	-	41,1	6,02	16,7	89	1 217
M9	141	1 225 648	-	42,7	6,06	16,7	91	1 223
M10	141	1 256 294	-	44,9	6,11	16,8	101	1 228
M11	141	1 194 827	-	48,7	6,15	16,7	83	1 234
M12	140	1 133 986	-	37,4	5,54	17,4	88	1 238
M13	140	1 224 217	-	38,7	5,72	16,9	93	1 205
M14	141	1 163 020	-	39,2	5,79	16,7	91	1 202
M15	141	1 182 383	-	39,3	5,80	17,4	91	1 203

Pregled vrijednosti paralelnih mjerenja SRM i AMS uređaja svedenih na referentne (GVE) uvjete (volumen suhih plinova kod referentnog O_2 od 6 % pri 0 °C i 1013,25 hPa) potrebne za testove varijabilnosti dan je u tab. 9 i tab. 10. Kako pomoćne veličine (ϑ , O_2 i H_2O) ne bi utjecale na prolaznost pojedinih AMS uređaja kod testova varijabilnosti, prilikom svođenja tzv. „sirovih“ vrijednosti AMS uređaja na referentne (GVE) uvjete korištene su vrijednosti pomoćnih veličina mjerene SRM uređajima. Dakle, umjesto vrijednosti AMS uređaja iz tab. 10 korištene su „sirove“ vrijednosti AMS uređaja svedene na referentne uvjete korištenjem vrijednosti pomoćnih veličina mjerenih SRM uređajima.

Tab. 9: Emisije iz presjeka prije REA mjerene SRM uređajima svedene na referentne uvjete

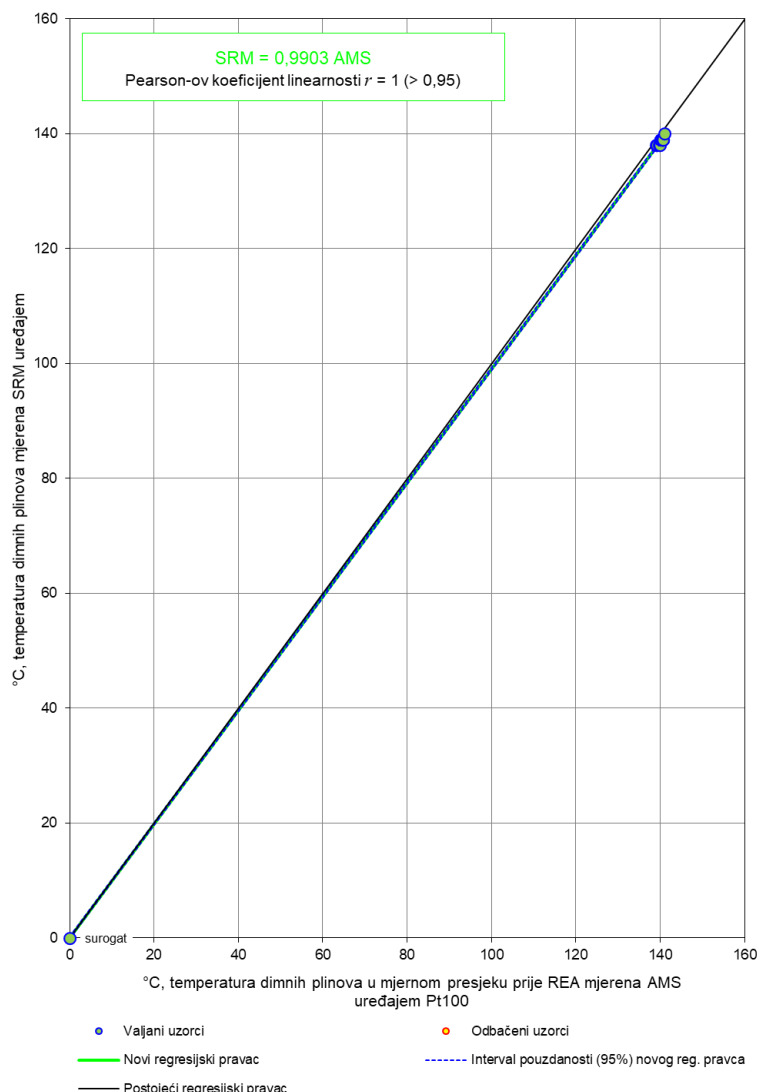
SRM (prije REA)	Q	PM	CO	NO_x kao NO_2	SO_2
	m^3_{ref}/h	mg/m^3_{ref}	mg/m^3_{ref}	mg/m^3_{ref}	mg/m^3_{ref}
M1	722 199	19,9	15,8	125	1 103
M2	711 721	18,9	16,5	119	1 131
M3	711 147	21,6	17,6	125	1 167
M4	716 879	21,3	17,3	118	1 187
M5	721 767	22,4	17,2	124	1 185
M6	719 513	22,5	16,6	108	1 158
M7	709 400	21,5	16,7	110	1 164
M8	718 191	17,6	16,5	118	1 175
M9	722 235	23,7	16,4	121	1 185
M10	719 126	23,5	16,6	133	1 192
M11	713 207	30,0	16,4	105	1 192
M12	725 755	21,2	19,3	106	1 154
M13	723 862	20,4	18,8	115	1 157
M14	719 555	21,8	18,3	116	1 158
M15	717 270	21,9	18,6	120	1 152

Tab. 10: Emisije iz presjeka prije REA mjerene AMS uređajima svedene na referentne uvjete

AMS (prije REA)	Q	$Q_{\text{sekundarni}}$	PM	CO	NO_x kao NO_2	SO_2
	m^3_{ref}/h	m^3_{ref}/h	mg/m^3_{ref}	mg/m^3_{ref}	mg/m^3_{ref}	mg/m^3_{ref}
M1	739 646	-	57,5	14,4	137	1 197
M2	695 133	-	55,8	15,3	134	1 206
M3	716 760	-	60,1	16,3	140	1 228
M4	727 758	-	61,6	16,4	133	1 235
M5	734 400	-	63,8	16,5	140	1 242
M6	675 838	-	63,7	16,3	125	1 205
M7	701 883	-	64,6	16,6	128	1 213
M8	725 757	-	68,0	16,7	136	1 219
M9	738 125	-	70,9	16,8	140	1 228
M10	753 281	-	74,8	16,9	155	1 237
M11	715 283	-	81,3	16,9	128	1 246
M12	708 008	-	59,9	16,9	131	1 201
M13	793 490	-	58,8	16,6	140	1 183
M14	721 398	-	63,9	16,5	137	1 185
M15	724 165	-	64,2	17,2	138	1 187

3.1.1. Mjerenje temperature 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.



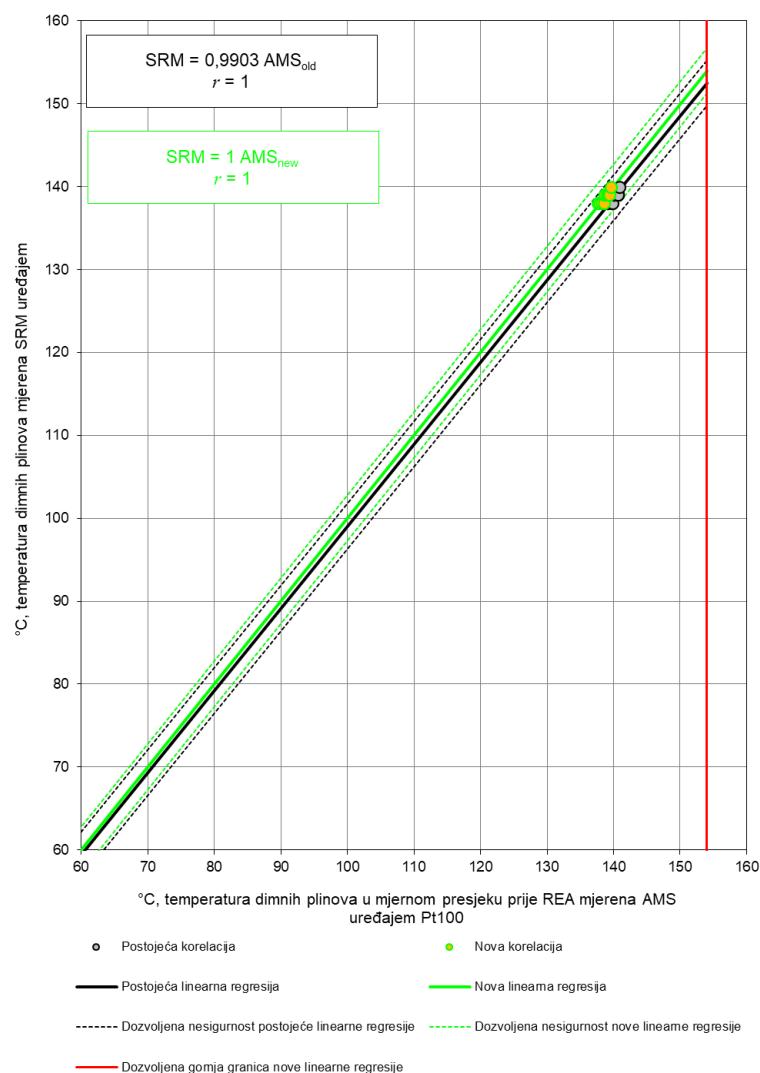
Sl. 7: Odnos postojećeg i novog regresijskog pravca AMS uređaja Pt100 za mjerenje temperature u mjernom presjeku prije REA

Oba regresijska pravca prolaze kroz nultu točku ($\min_{\text{old}} = \min_{\text{new}} = 0$ °C). Kako postojeći regresijski pravac ne leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca ($\text{AMS}_{\text{new}} = 0,9903 \cdot \text{AMS}_{\text{old}}$), razmotreno je usvajanje novog regresijskog pravca kako je prikazano na sl. 8. Uzimajući u obzir dozvoljenu mjernu nesigurnost ($\sigma_0 = \pm 2,75$ °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:

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

$$\max_{\text{new}} = \max_{\text{old}} = 200 \text{ °C}.$$

U tab. 11 su dani rezultati testa varijabilnosti postojeće linearne regresije.



Sl. 8: Dozvoljena mjerna nesigurnost postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja Pt100 za mjerenje temperature u mjernom presjeku prije REA

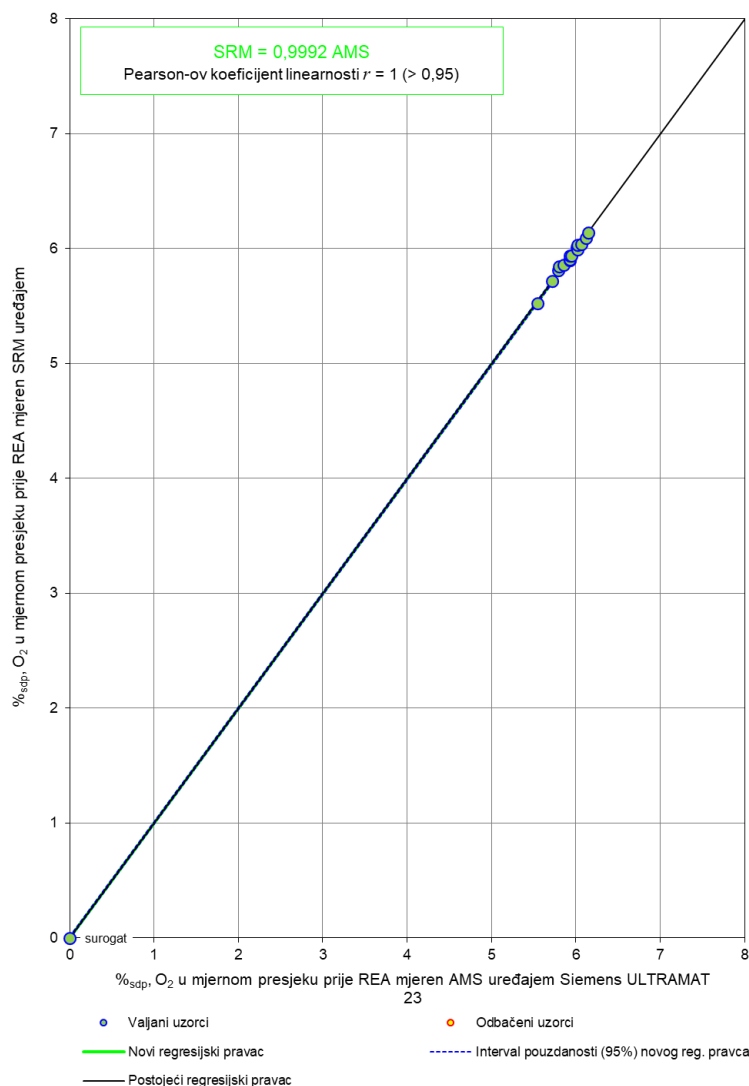
Tab. 11: Test varijabilnosti postojeće linearne regresije AMS uređaja Pt100 za mjerenje temperature u mjernom presjeku prije REA

$AMS_{new} = a + b \cdot AMS_{old}$ $AMS_i = min_i + \frac{max_i - min_i}{16 \text{ mA}} \cdot (x - 4 \text{ mA}); i \in \{old, new\}$						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	0,31	2,75	0,98	2,69
0	200	0	1	0	200	Zadovoljava			

Kao što se vidi iz tab. 11, postojeća linearna regresija AMS uređaja Pt100 za mjerenje temperature u mjernom presjeku prije REA uspješno prolazi test varijabilnosti. Postojeći regresijski pravac ($min_{new} = min_{old} = 0 \text{ °C}$, $max_{new} = max_{old} = 200 \text{ °C}$) se može zadržati i valjan je u rasponu od 0 °C do 154 °C .

3.1.2. Mjerenje O₂ uređajem Siemens ULTRAMAT 23

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.



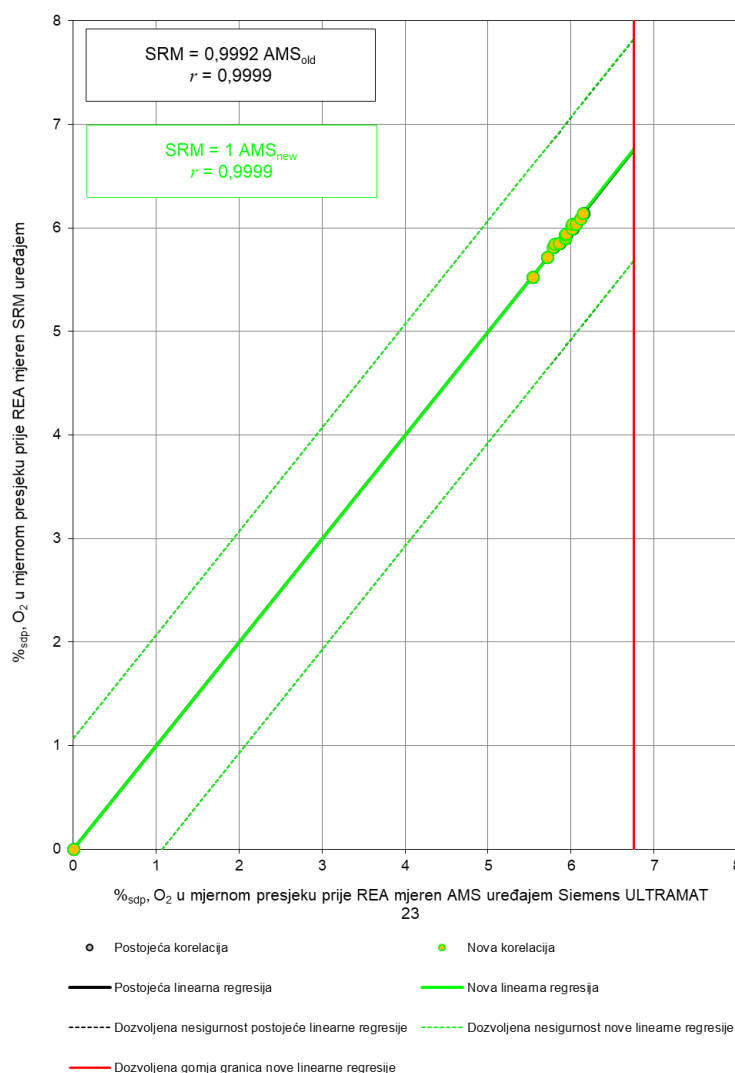
Sl. 9: Odnos postojećeg i novog regresijskog pravca AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje O₂ u suhim dimnim plinovima mjernog presjeka prije REA

Oba regresijska pravca prolaze kroz nultu točku ($\min_{\text{old}} = \min_{\text{new}} = 0 \text{ \%}_{\text{sdp}}$). Kako postojeći regresijski pravac ne leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca ($\text{AMS}_{\text{new}} = 0,9992 \cdot \text{AMS}_{\text{old}}$), razmotreno je usvajanje novog regresijskog pravca kako je prikazano na sl. 10. Uzimajući u obzir dozvoljenu mjernu nesigurnost ($\sigma_0 = \pm 1,07 \text{ \%}_{\text{sdp}}$), 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:

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

$$\max_{\text{new}} = \max_{\text{old}} = 21 \text{ \%}_{\text{sdp}}.$$

Rezultati testa varijabilnosti postojeće linearne regresije dani su u tab. 12.



Sl. 10: Dozvoljena mjerna nesigurnost postojeće i nove linearne regresije Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje O₂ u suhim dimnim plinovima mjernog presjeka prije REA

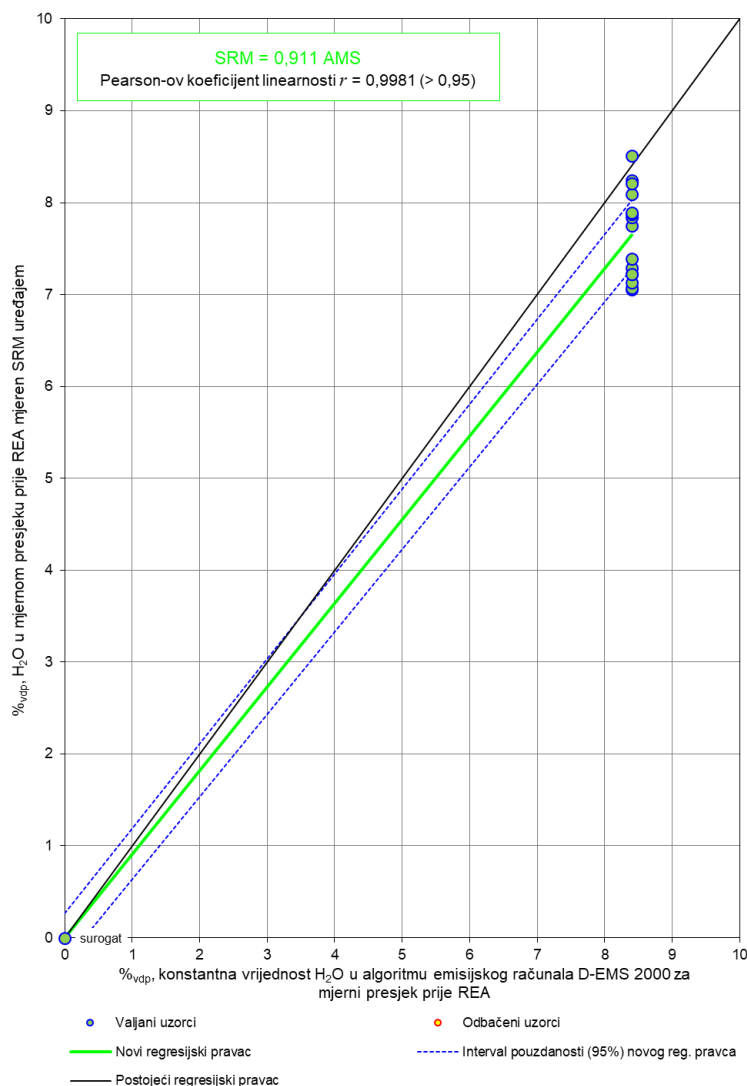
Tab. 12: Test varijabilnosti postojeće linearne regresije AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje O₂ u suhim dimnim plinovima mjernog presjeka prije REA

AMS _{new} = a + b · AMS _{old} AMS _i = min _i + $\frac{max_i - min_i}{16 \text{ mA}} \cdot (x - 4 \text{ mA})$; i ∈ {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	σ ₀ · k _v
%sdp	%sdp	%sdp	-	%sdp	%sdp	0,02	1,07	0,98	1,05
0	21	0	1	0	21	Zadovoljava			

Kao što se vidi iz tab. 12, postojeća linearna regresija AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje O₂ u suhim dimnim plinovima mjernog presjeka prije REA uspješno prolazi test varijabilnosti. Postojeći regresijski pravac ($min_{new} = min_{old} = 0 \text{ \%sdp}$, $max_{new} = max_{old} = 21 \text{ \%sdp}$) se može zadržati i valjan je u rasponu od 0 %sdp do 6,8 %sdp.

3.1.3. Provjera konstante vlažnosti dimnih plinova

Na sl. 11 je prikazan postojeći i novi regresijski pravac određen na temelju rezultata petnaest (M1-M15) valjanih paralelnih mjerenja i jedne dodatne, tzv. surogat točke.

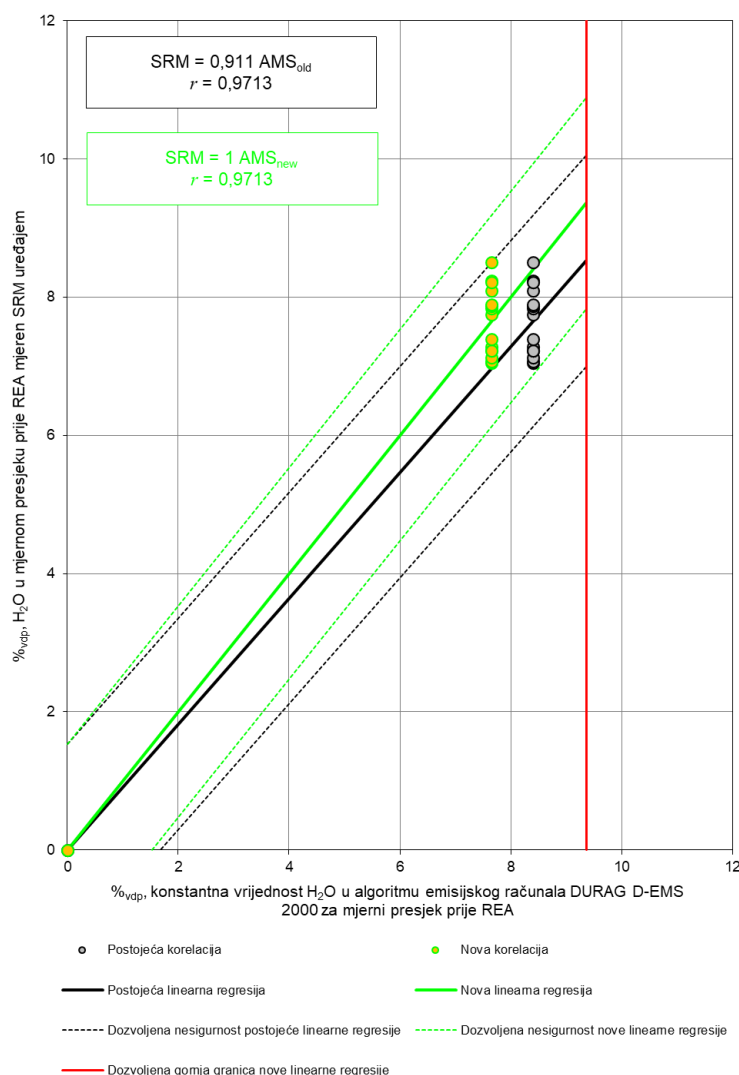


Sl. 11: Odnos postojećeg i novog fiktivnog regresijskog pravca za usvojenu konstantu vlažnosti dimnih plinova u mjernom presjeku prije REA

Oba regresijska pravca prolaze kroz nultu točku ($\min_{\text{old}} = \min_{\text{new}} = 0 \text{ \%vdp}$). Kako postojeći fiktivni regresijski pravac ne leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca ($\text{AMS}_{\text{new}} = 0,911 \cdot \text{AMS}_{\text{old}}$), razmotreno je usvajanje novog fiktivnog regresijskog pravca (nove konstante) kako je prikazano na sl. 12. Uzimajući u obzir dozvoljenu mjernu nesigurnost ($\sigma_0 = \pm 1,53 \text{ \%vdp}$), može se vidjeti da postojeći fiktivni regresijski pravac u potpunosti leži unutar granica mjerne nesigurnosti novog pravca. Osim toga, prosječna greška izračuna korekcijskog koeficijenta $k_{\text{H}_2\text{O}}$ (prema jednadžbi (2)) za postojeću konstantu iznosi 0,82 % u odnosu na vrijednost dobivenu prema rezultatima mjerenja. Prema tome, postojeća konstanta se može zadržati te stoga vrijedi:

$$H_{2O_{\text{new}}} = H_{2O_{\text{old}}} = 8,4 \text{ \%vdp}.$$

Rezultati testa varijabilnosti postojeće fiktivne linearne regresije dani su u tab. 13.



Sl. 12: Dozvoljena mjerna nesigurnost postojeće i nove fiktivne linearne regresije konstante vlažnosti dimnih plinova u mjernom presjeku prije REA

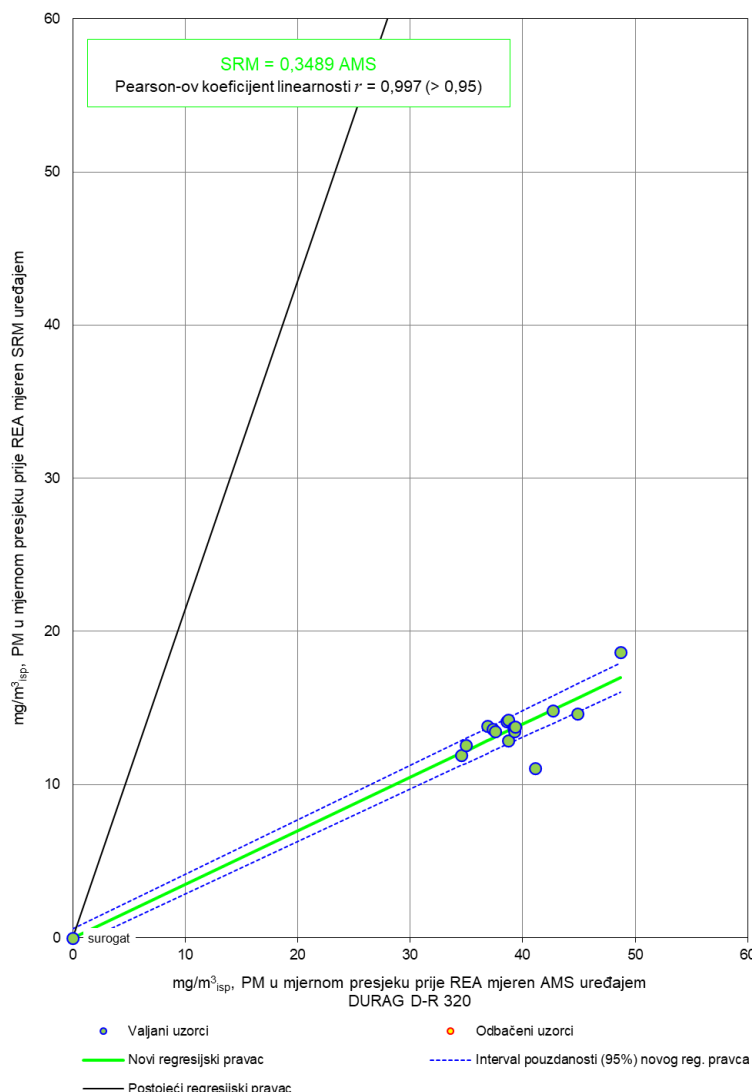
Tab. 13: Test varijabilnosti postojeće fiktivne linearne regresije AMS uređaja za usvojenu konstantu vlažnosti dimnih plinova u mjernom presjeku prije REA

AMS _{new} = a + b · AMS _{old}				QAL2 test varijabilnosti			
				$s_D \leq \sigma_0 \cdot k_v$			
H ₂ O _{old}	a	b	H ₂ O _{new}	s _D	σ ₀	k _v	σ ₀ · k _v
%vdp	%vdp	-	%vdp	0,48	1,53	0,98	1,49
8,4	0	1	8,4	Zadovoljava			

Kao što se vidi iz tab. 13, usvojena konstanta vlažnosti dimnih plinova (H₂O) u mjernom presjeku prije REA uspješno prolazi test varijabilnosti. Postojeća konstantna vrijednost H₂O = 8,4 %vdp koja je upisana u algoritmu emisijskog računala DURAG D-EMS 2000 se može zadržati.

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

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.



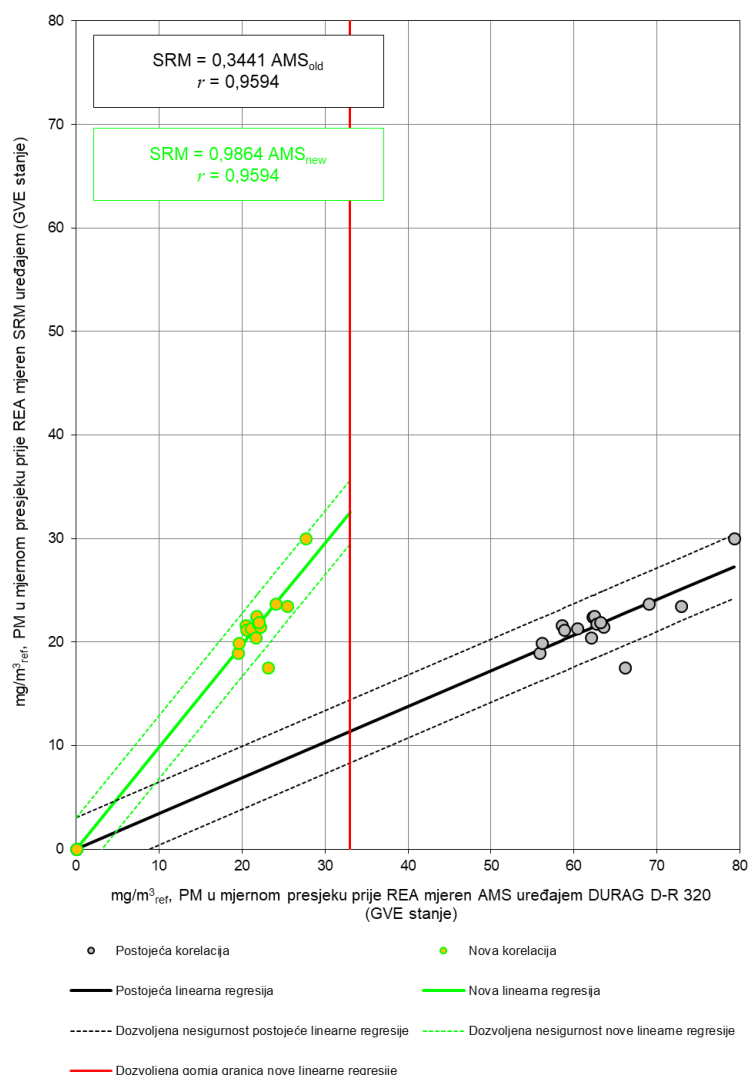
Sl. 13: Odnos postojećeg i novog regresijskog pravca AMS uređaja DURAG D-R 320 za mjerenje PM u mjernom presjeku prije REA

Oba regresijska pravca prolaze kroz nultu točku ($a_{0\text{old}} = a_{0\text{new}} = 0 \text{ mg/m}^3_{\text{isp}}$). Kako postojeći regresijski pravac ne leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca usvajamo novi regresijski pravac ($\text{AMS}_{\text{new}} = 0,3489 \cdot \text{AMS}_{\text{old}}$). Stoga se u postavke uređaja moraju unijeti novi koeficijenti:

$$a_{0\text{new}} = a + b \cdot a_{0\text{old}} = 0 \text{ mg/m}^3_{\text{isp}} + 0,3489 \cdot 0 \text{ mg/m}^3_{\text{isp}} = 0 \text{ mg/m}^3_{\text{isp}},$$

$$a_{1\text{new}} = b \cdot a_{1\text{old}} = 0,3489 \cdot 0,0175 \text{ mg/m}^3_{\text{isp}} = 0,00611 \text{ mg/m}^3_{\text{isp}}.$$

Mjerna nesigurnost ($\sigma_0 = \pm 3,06 \text{ mg/m}^3_{\text{ref}}$) postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja DURAG D-R 320 za mjerenje PM u mjernom presjeku prije REA prikazana je na sl. 14. Kod svodenja emisije krutih čestica izmjerenih AMS uređajem na referentne uvjete korištene su vrijednosti pomoćnih veličina mjerene SRM uređajima (ϑ , H_2O i O_2). U tab. 14 su dani rezultati testa varijabilnosti nove linearne regresije.



Sl. 14: Dozvoljena mjerna nesigurnost postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja DURAG D-R 320 za mjerenje PM u mjernom presjeku prije REA

Tab. 14: Test varijabilnosti nove linearne regresije AMS uređaja DURAG D-R 320 za mjerenje PM u mjernom presjeku prije REA

$AMS_{new} = a + b \cdot AMS_{old}$ $AMS_i = a_{0i} + a_{1i} \cdot SL; i \in \{old, new\}$						QAL2 test varijabilnosti			
						$S_D \leq \sigma_0 \cdot k_v$			
a_{0old}	a_{1old}	a	b	a_{0new}	a_{1new}	S_D	σ_0	k_v	$\sigma_0 \cdot k_v$
mg/m ³ _{isp}	mg/m ³ _{isp}	mg/m ³ _{isp}	-	mg/m ³ _{isp}	mg/m ³ _{isp}	1,78	3,06	0,98	2,99
0	0,0175	0	0,3489	0	0,00611	Zadovoljava			

Kao što se vidi iz tab. 14, nova linearna regresija AMS uređaja DURAG D-R 320 za mjerenje masene koncentracije krutih čestica (PM) u mjernom presjeku prije REA uspješno prolazi test varijabilnosti. Novi regresijski pravac ($a_{0new} = 0 \text{ mg/m}^3_{isp}$, $a_{1new} = 0,00611 \text{ mg/m}^3_{isp}$) je valjan u rasponu od 0 mg/m^3_{ref} do 33 mg/m^3_{ref} .

Novi regresijski pravac treba biti usvojen promjenom postavki AMS uređaja DURAG D-R 320. Kalibracijska funkcija mjerenja koncentracije krutih čestica definirana je sljedećim izrazom:

$$PM_{cal} = a_0 + a_1 \cdot SL, \quad (6)$$

gdje je:

- PM_{cal} ; mg/m^3 ; kalibrirana vrijednost mjerenja masene koncentracije krutih čestica,
- SL ; -; uređajem izmjerena raspršena svjetlost (engl. *stray light*),
- a_0 ; mg/m^3 ; kalibracijski pomak mjerenja masene koncentracije krutih čestica,
- a_1 ; mg/m^3 ; linearni faktor kalibracije mjerenja masene koncentracije krutih čestica.

Uvažavajući postojeće postavke uređaja prema tab. 3, postojeća kalibracijska funkcija glasi:

$$PM_{cal} = 0 + 0,0175 \cdot SL. \quad (7)$$

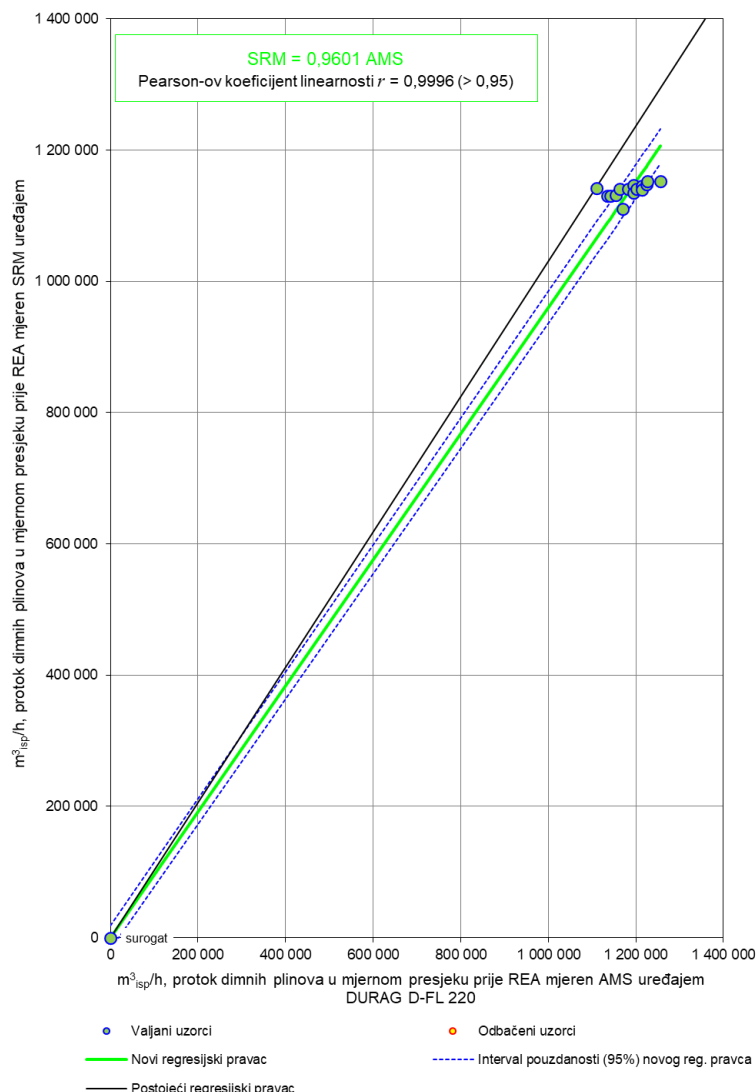
Usvajanjem nove linearne regresije ($AMS_{new} = 0,3489 \cdot AMS_{old}$) dobiva se nova kalibracijska funkcija:

$$PM_{cal} = 0 + 0,00611 \cdot SL. \quad (8)$$

Umjeravanje AMS uređaja DURAG D-R 320 (serijski broj 1253255) treba provesti promjenom postavki samog uređaja, odnosno promjenom kalibracijskih faktora mjerenja masene koncentracije krutih čestica (*Parameter Report* uređaja; poglavlje *Device settings* na str. 8 gdje su navedene kalibracijske postavke (*Gravimetric calibration*)). Umjesto postojećeg linearnog faktora $a_1 = 0,0175$ ($a_1 = 1,75e-2$) treba upisati $a_1 = 0,00611$ ($a_1 = 6,11e-3$).

3.1.5. Mjerenje brzine i protoka uređajem DURAG D-FL 220

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.



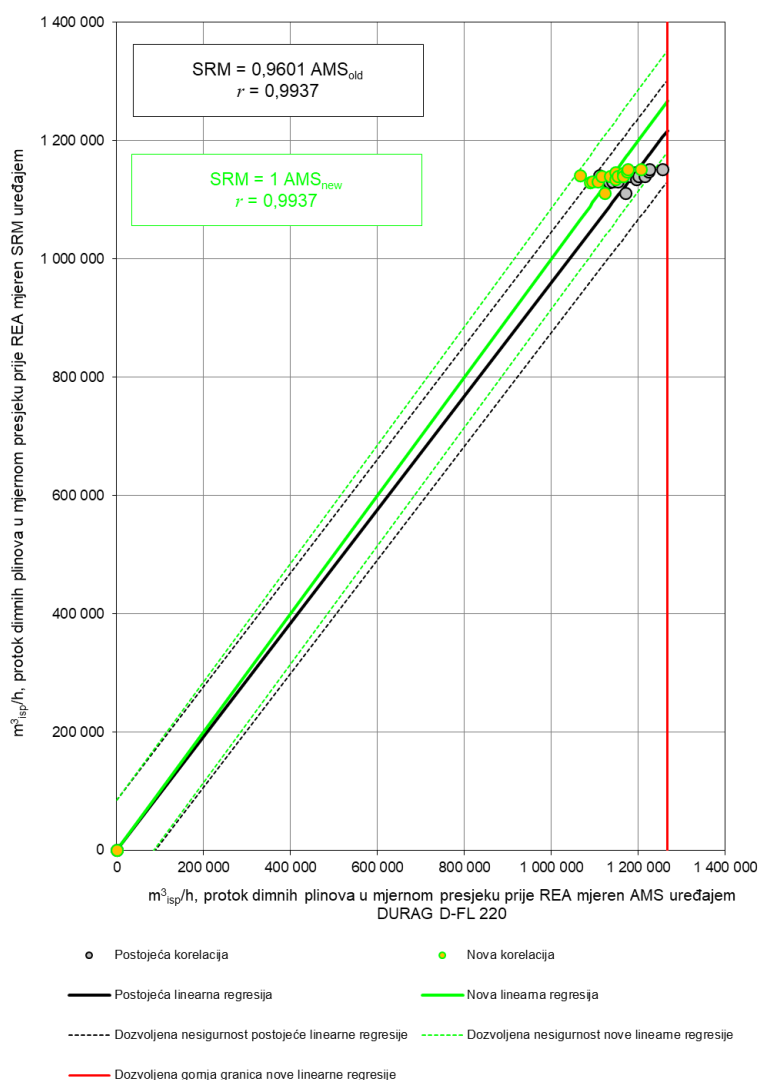
Sl. 15: Odnos postojećeg i novog regresijskog pravca AMS uređaja DURAG D-FL 220 za mjerenje brzine i protoka dimnih plinova u mjernom presjeku prije REA

Oba regresijska pravca prolaze kroz nultu točku ($a_{0\text{old}} = a_{0\text{new}} = 0 \text{ m}^3_{\text{isp}}/\text{h}$). Kako postojeći regresijski pravac ne leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca usvajamo novi regresijski pravac ($\text{AMS}_{\text{new}} = 0,9601 \cdot \text{AMS}_{\text{old}}$). Stoga se u emisijsko računalo moraju unijeti novi koeficijenti:

$$a_{0\text{new}} = a + b \cdot a_{0\text{old}} = 0 \text{ m}^3_{\text{isp}}/\text{h} + 0,9601 \cdot 0 \text{ m}^3_{\text{isp}}/\text{h} = 0 \text{ m}^3_{\text{isp}}/\text{h},$$

$$a_{1\text{new}} = b \cdot a_{1\text{old}} = 0,9601 \cdot 1,0305 = 0,9894.$$

Mjerna nesigurnost ($\sigma_0 = \pm 85\,430 \text{ m}^3_{\text{isp}}/\text{h}$) postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja DURAG D-FL 220 za mjerenje brzine i protoka dimnih plinova u mjernom presjeku prije REA prikazana je na sl. 16. U tab. 15 su dani rezultati testa varijabilnosti nove linearne regresije.



Sl. 16: Dozvoljena mjerna nesigurnost postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja DURAG D-FL 220 za mjerenje brzine i protoka dimnih plinova u mjernom presjeku prije REA

Tab. 15: Test varijabilnosti nove linearne regresije AMS uređaja DURAG D-FL 220 za mjerenje brzine i volumnog protoka dimnih plinova u mjernom presjeku prije REA

$AMS_{new} = a + b \cdot AMS_{old}$ $AMS_i = a_{0i} + a_{1i} \cdot Q; i \in \{old, new\}$						QAL2 test varijabilnosti			
						$s_D \leq \sigma_0 \cdot k_v$			
a_{0old}	a_{1old}	a	b	a_{0new}	a_{1new}	s_D	σ_0	k_v	$\sigma_0 \cdot k_v$
m ³ _{isp} /h	-	m ³ _{isp} /h	-	m ³ _{isp} /h	-	33 312	85 430	0,98	83 390
0	1,0305	0	0,9601	0	0,9894	Zadovoljava			

Kao što se vidi iz tab. 15, nova linearna regresija AMS uređaja DURAG D-FL 220 za mjerenje brzine i volumnog protoka dimnih plinova u mjernom presjeku prije REA uspješno prolazi test varijabilnosti. Novi regresijski pravac ($a_{0new} = 0$, $a_{1new} = 0,9894$) je valjan u rasponu od 0 m³_{isp}/h do 1 242 034 m³_{isp}/h.

Novi regresijski pravac treba biti usvojen promjenom postavki AMS uređaja DURAG D-FL 220. Kalibracijska funkcija mjerenja protoka dimnih plinova definirana je sljedećim izrazom:

$$Q_{\text{cal}} = a_0 + a_1 \cdot Q + a_2 \cdot Q^2 + a_3 \cdot Q^3, \quad (9)$$

gdje je:

Q_{cal} ; m ³ /h;	kalibrirana vrijednost mjerenja protoka dimnih plinova,
Q ; -;	uređajem izmjerena vrijednost protoka dimnih plinova,
a_0 ; m ³ /h;	kalibracijski pomak mjerenja protoka dimnih plinova,
a_1 ; -;	linearni faktor kalibracije mjerenja protoka dimnih plinova,
a_2 ; h/m ³ ;	kvadratni faktor kalibracije mjerenja protoka dimnih plinova,
a_3 ; h ² /m ⁶ ;	kubični faktor kalibracije mjerenja protoka dimnih plinova.

Uvažavajući postojeće postavke uređaja prema tab. 3, postojeća kalibracijska funkcija glasi:

$$Q_{\text{cal}} = 0 + 1,0305 \cdot Q + 0 \cdot Q^2 + 0 \cdot Q^3. \quad (10)$$

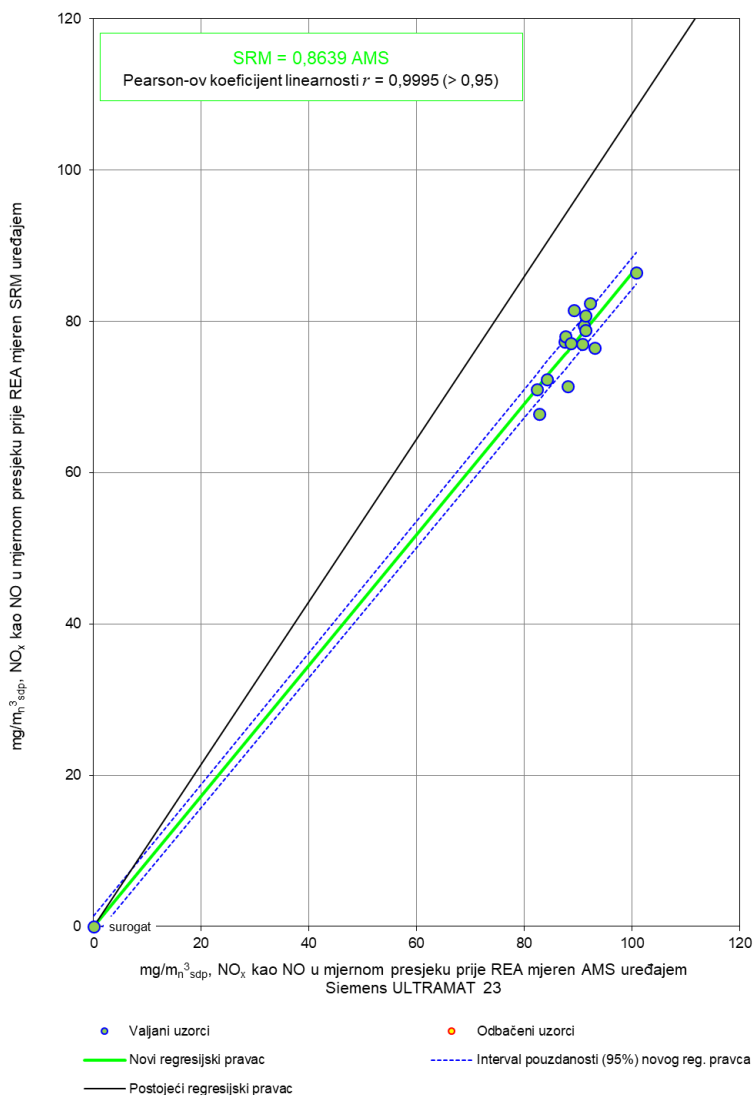
Usvajanjem nove linearne regresije ($\text{AMS}_{\text{new}} = 0,9601 \cdot \text{AMS}_{\text{old}}$) dobiva se nova kalibracijska funkcija:

$$Q_{\text{cal}} = 0 + 0,9894 \cdot Q + 0 \cdot Q^2 + 0 \cdot Q^3. \quad (11)$$

Umjeravanje AMS uređaja DURAG D-FL 220 (serijski broj 1265313) treba provesti promjenom postavki samog uređaja, odnosno promjenom kalibracijskih faktora mjerenja protoka dimnih plinova (*Parameter Report* uređaja; poglavlje *Variable setup (Channel #2)* na str. 4 gdje su navedene kalibracijske postavke mjerenja protoka dimnih plinova). Umjesto postojećeg linearnog faktora $a_1 = 1,0305$ treba upisati $a_1 = 0,9894$.

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.



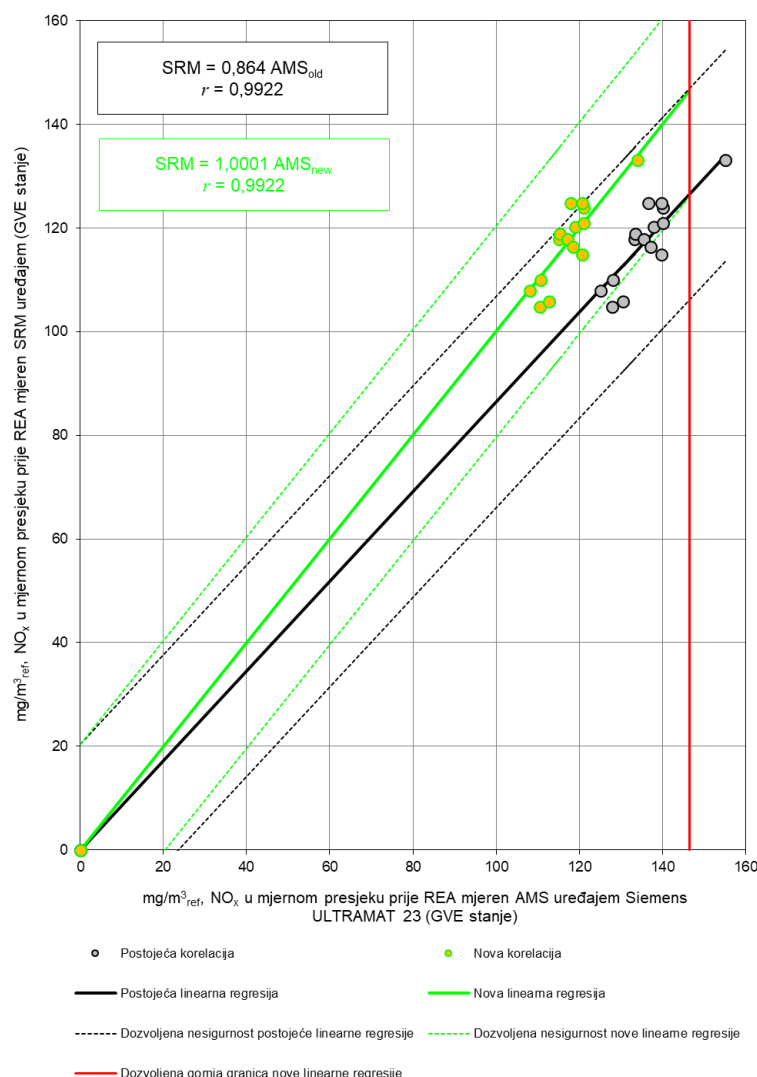
Sl. 17: Odnos postojećeg i novog regresijskog pravca AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje NO_x u suhim dimnim plinovima mjernog presjeka prije REA

Oba regresijska pravca prolaze kroz nultu točku ($\min_{\text{old}} = \min_{\text{new}} = 0 \text{ mg/m}^3_{\text{sdp}}$). Kako postojeći regresijski pravac ne leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca usvajamo novi regresijski pravac ($\text{AMS}_{\text{new}} = 0,8639 \cdot \text{AMS}_{\text{old}}$). Stoga se u emisijsko računalo moraju unijeti novi koeficijenti:

$$\min_{\text{new}} = a + b \cdot \min_{\text{old}} = 0 \text{ mg/m}^3_{\text{sdp}} + 0,8639 \cdot 0 \text{ mg/m}^3_{\text{sdp}} = 0 \text{ mg/m}^3_{\text{sdp}},$$

$$\max_{\text{new}} = a + b \cdot \max_{\text{old}} = 0 \text{ mg/m}^3_{\text{sdp}} + 0,8639 \cdot 2150 \text{ mg/m}^3_{\text{sdp}} = 1857 \text{ mg/m}^3_{\text{sdp}}.$$

Mjerna nesigurnost ($\sigma_0 = \pm 20,41 \text{ mg/m}^3_{\text{ref}}$) postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje emisije NO_x (NO_x kao NO) u mjernom presjeku prije REA 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. 16 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 mjernog presjeka prije REA

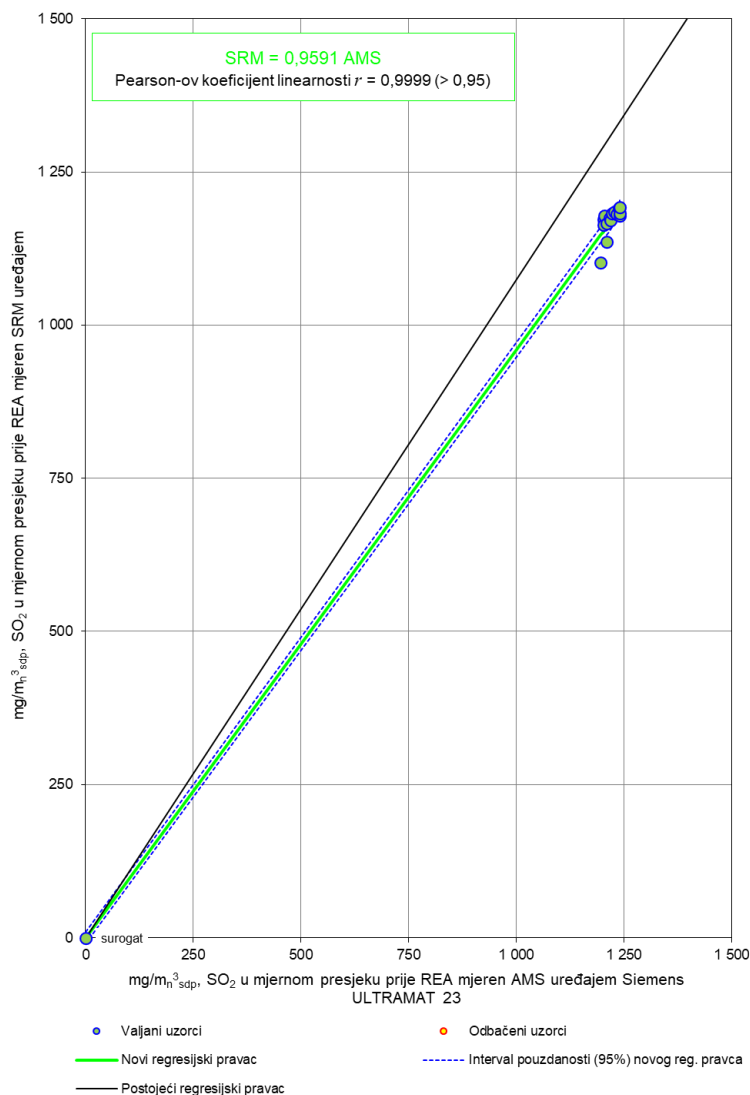
Tab. 16: Test varijabilnosti nove linearne regresije AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje NO_x u suhim dimnim plinovima mjernog presjeka prije REA

AMS _{new} = a + b · AMS _{old} AMS _i = min _i + $\frac{max_i - min_i}{16 \text{ mA}} \cdot (x - 4 \text{ mA})$; i ∈ {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	σ ₀ · k _v
mg/m ³ _{sdp}	mg/m ³ _{sdp}	mg/m ³ _{sdp}	-	mg/m ³ _{sdp}	mg/m ³ _{sdp}	3,91	20,41	0,98	19,92
0	2 150	0	0,8639	0	1 857	Zadovoljava			

Kao što se vidi iz tab. 16, nova linearna regresija AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje NO_x kao NO u suhim dimnim plinovima mjernog presjeka prije REA uspješno prolazi test varijabilnosti. Novi regresijski pravac (min_{new} = 0 mg/m³_{sdp}, max_{new} = 1 857 mg/m³_{sdp}) je valjan u rasponu od 0 mg/m³_{ref} do 146 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.



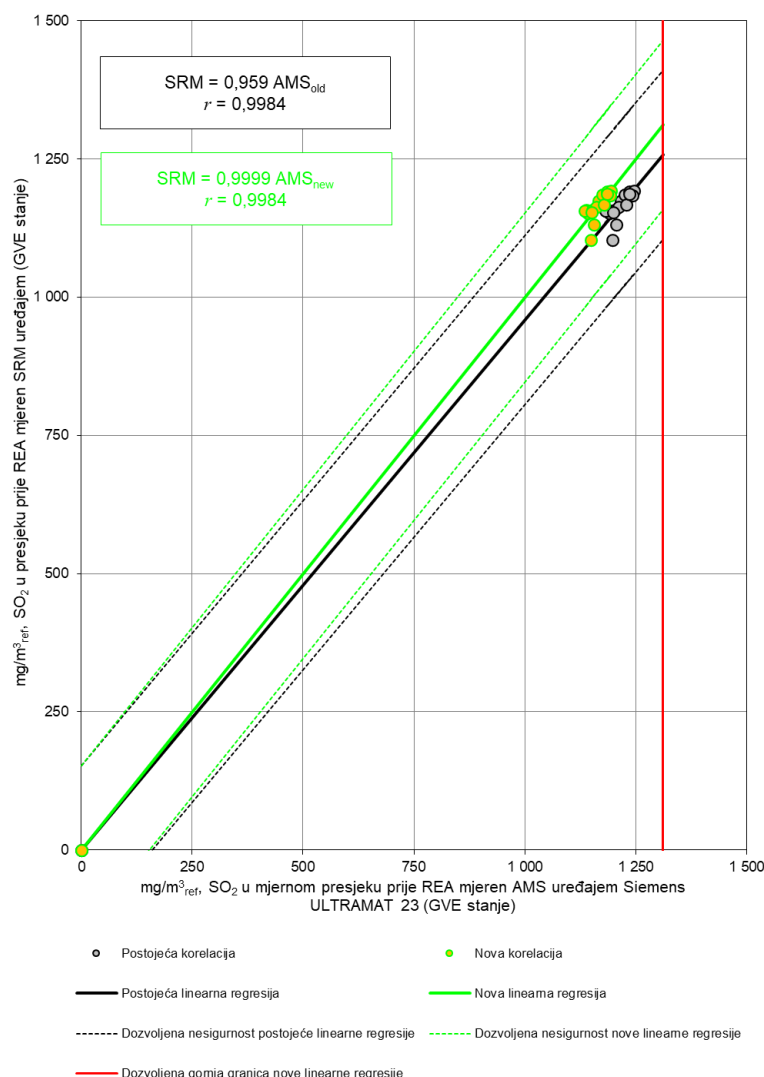
Sl. 19: Odnos postojećeg i novog regresijskog pravca AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje SO₂ u suhim dimnim plinovima mjernog presjeka prije REA

Oba regresijska pravca prolaze kroz nultu točku ($\min_{\text{old}} = \min_{\text{new}} = 0 \text{ mg/m}^3_{\text{sdp}}$). Kako postojeći regresijski pravac ne leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca usvajamo novi regresijski pravac ($\text{AMS}_{\text{new}} = 0,9591 \cdot \text{AMS}_{\text{old}}$). Stoga se u emisijsko računalo moraju unijeti novi koeficijenti:

$$\min_{\text{new}} = a + b \cdot \min_{\text{old}} = 0 \text{ mg/m}^3_{\text{sdp}} + 0,9591 \cdot 0 \text{ mg/m}^3_{\text{sdp}} = 0 \text{ mg/m}^3_{\text{sdp}},$$

$$\max_{\text{new}} = a + b \cdot \max_{\text{old}} = 0 \text{ mg/m}^3_{\text{sdp}} + 0,9591 \cdot 2\,149 \text{ mg/m}^3_{\text{sdp}} = 2\,061 \text{ mg/m}^3_{\text{sdp}}.$$

Mjerna nesigurnost ($\sigma_0 = \pm 20,41 \text{ mg/m}^3_{\text{ref}}$) postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje emisije SO₂ u mjernom presjeku prije REA prikazana je na sl. 20. Kod svođenja emisije SO₂ izmjerenih AMS uređajem Siemens ULTRAMAT 23 na referentne uvjete korištene su vrijednosti O₂ mjerene SRM uređajem. U tab. 17 su dani rezultati testa varijabilnosti nove linearne regresije.



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

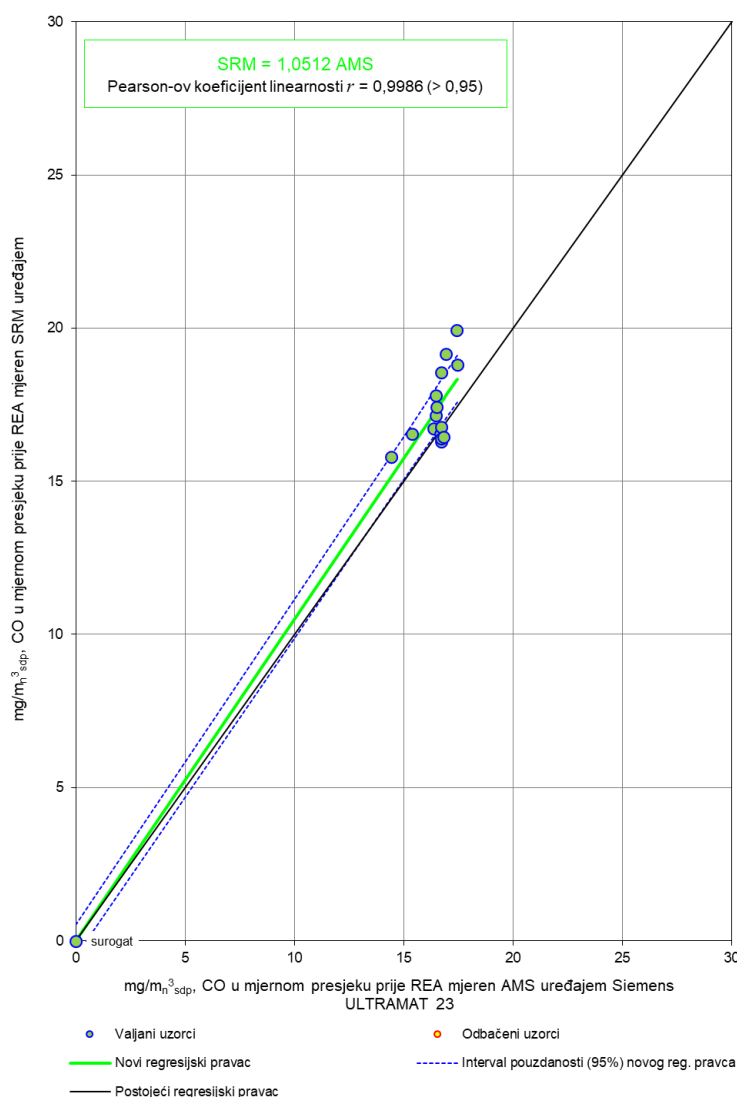
Tab. 17: Test varijabilnosti nove linearne regresije AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje SO₂ u suhim plinovima mjernog presjeka prije REA

AMS _{new} = a + b · AMS _{old} AMS _i = min _i + $\frac{max_i - min_i}{16 \text{ mA}}$ · (x - 4 mA); i ∈ {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	σ ₀ · k _v
mg/m ³ _{sdp}	mg/m ³ _{sdp}	mg/m ³ _{sdp}	-	mg/m ³ _{sdp}	mg/m ³ _{sdp}	17,01	153,06	0,98	149,41
0	2 149	0	0,9591	0	2 061	Zadovoljava			

Kao što se vidi iz tab. 17, nova linearna regresija AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje SO₂ u suhim dimnim plinovima mjernog presjeka prije REA uspješno prolazi test varijabilnosti. Novi regresijski pravac ($min_{new} = 0 \text{ mg/m}^3_{sdp}$, $max_{new} = 2\,061 \text{ mg/m}^3_{sdp}$) se može zadržati i valjan je u rasponu od 0 mg/m^3_{ref} do $1\,312 \text{ mg/m}^3_{ref}$.

3.1.8. Mjerenje CO 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.



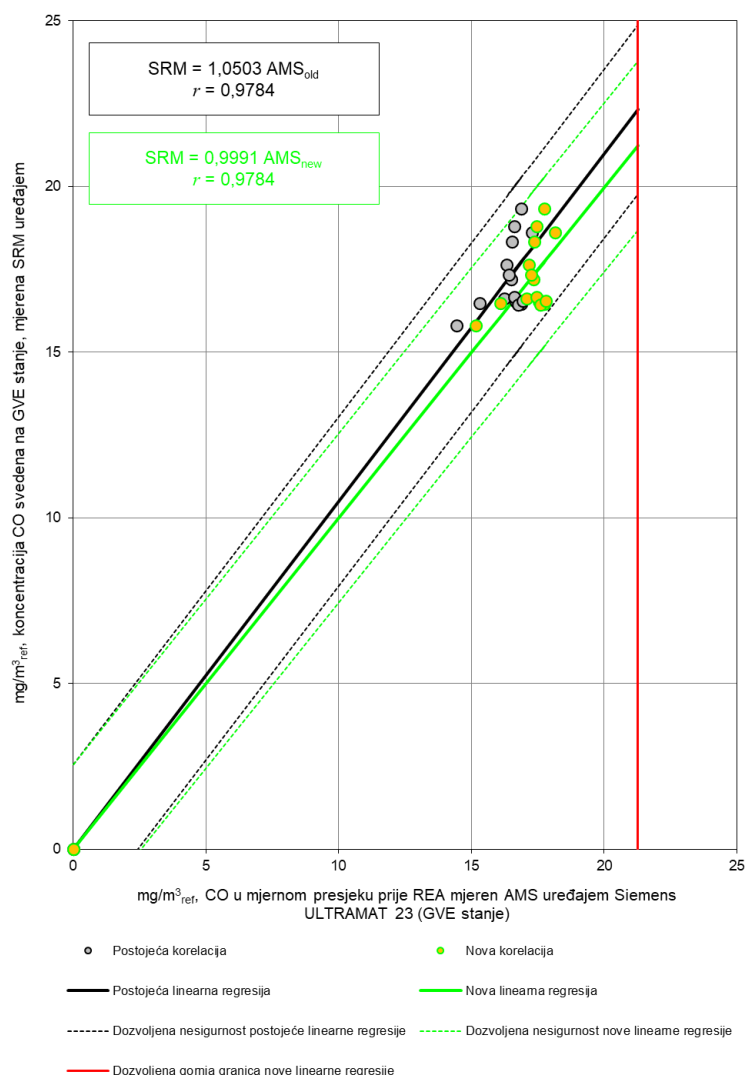
Sl. 21: Odnos postojećeg i novog regresijskog pravca AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje CO u suhim dimnim plinovima mjernog presjeka prije REA

Kako postojeći regresijski pravac ne leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca, razmotreno je usvajanje novog regresijskog pravca ($AMS_{new} = 1,0512 \cdot AMS_{old}$) kako je prikazano na sl. 22. Uzimajući u obzir mjernu nesigurnost postojeće i nove linearne regresije ($\sigma_0 = \pm 2,55 \text{ mg/m}^3_{ref}$), 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, vrijedi:

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

$$\max_{new} = \max_{old} = 1\,000 \text{ mg/m}^3_{sdp}.$$

Kod svođenja emisije CO izmjerenih AMS uređajem Siemens ULTRAMAT 23 na referentne uvjete korištene su vrijednosti O_2 mjerene SRM uređajem. U tab. 18 su dani rezultati testa varijabilnosti postojeće linearne regresije.



Sl. 22: Dozvoljena mjerna nesigurnost postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje CO u suhim dimnim plinovima mjernog presjeka prije REA

Tab. 18: Test varijabilnosti postojeće linearne regresije AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje CO u suhim dimnim plinovima mjernog presjeka prije REA

AMS _{new} = a + b · AMS _{old} AMS _i = min _i + $\frac{max_i - min_i}{16 \text{ mA}} \cdot (x - 4 \text{ mA})$; i ∈ {old, new}						QAL2 test varijabilnosti			
min _{old}	max _{old}	a	b	min _{new}	max _{new}	S _D ≤ σ ₀ · k _v			
mg/m ³ _{sdp}	mg/m ³ _{sdp}	mg/m ³ _{sdp}	-	mg/m ³ _{sdp}	mg/m ³ _{sdp}	S _D	σ ₀	k _v	σ ₀ · k _v
0	1 000	0	1	0	1 000	0,94	2,55	0,98	2,49
Zadovoljava									

Kao što se vidi iz tab. 18, postojeća linearna regresija AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje CO u suhim dimnim plinovima mjernog presjeka prije REA uspješno prolazi test varijabilnosti. Postojeći regresijski pravac ($min_{new} = min_{old} = 0 \text{ mg/m}^3_{sdp}$, $max_{new} = max_{old} = 1 000 \text{ mg/m}^3_{sdp}$) se može zadržati i valjan je u rasponu od 0 mg/m³_{ref} do 21,3 mg/m³_{ref}.

3.2. MJERNI PRESJEK NAKON REA

5., 6. i 7. listopada 2025. godine EKONERG-ov *Laboratorij za mjerenje emisija* je u mjernom presjeku nakon REA izvršio petnaest paralelnih mjerenja (M1-M15): temperature (ϑ), volumnog udjela vodene pare (H_2O) i masene koncentracije krutih čestica (PM) i volumnih udjela SO_2 , CO , NO_x i O_2 u suhim dimnim plinovima. Pregled izmjerenih, tzv. „sirovih“ vrijednosti paralelnih mjerenja SRM i AMS uređaja dan je u tab. 19 i tab. 20.

Tab. 19: Emisije iz mjernog presjeka nakon REA izmjerene SRM uređajima

SRM (nakon REA)	ϑ	H_2O	PM	O_2	CO	NO_x kao NO	SO_2
	°C	%vdp	mg/m ³ _{isp}	%sdp	mg/m ³ _{sdp}	mg/m ³ _{sdp}	mg/m ³ _{sdp}
M1	96	11,09	4,7	6,50	11,3	80	46
M2	97	11,87	4,7	6,30	10,9	83	48
M3	97	10,85	3,8	6,20	11,8	70	46
M4	98	10,68	3,4	5,72	16,8	83	69
M5	98	12,21	3,2	5,82	16,7	87	80
M6	98	11,13	3,5	5,97	16,1	96	92
M7	98	10,86	4,1	6,07	15,3	90	101
M8	98	10,98	3,8	6,19	14,6	90	85
M9	99	11,28	6,1	6,48	13,9	90	73
M10	96	11,40	2,9	6,03	14,3	83	48
M11	96	11,77	3,3	6,19	13,2	75	54
M12	96	11,21	3,4	6,27	11,6	81	58
M13	96	10,98	3,3	6,40	9,9	82	62
M14	97	11,05	3,4	6,33	9,4	79	65
M15	97	10,94	3,8	6,12	11,0	81	68

Tab. 20: Emisija iz mjernog presjeka nakon REA izmjerene AMS uređajima

AMS (nakon REA)	ϑ	PM	O_2	CO	NO_x kao NO	SO_2
	°C	mg/m ³ _{isp}	%sdp	mg/m ³ _{sdp}	mg/m ³ _{sdp}	mg/m ³ _{sdp}
M1	94	4,6	7,08	6,3	83	54
M2	95	4,3	6,94	7,0	84	55
M3	95	4,0	6,87	8,2	73	51
M4	96	4,2	6,55	11,6	85	85
M5	96	3,9	6,63	12,1	87	96
M6	96	3,8	6,73	12,0	92	111
M7	96	3,6	6,84	11,9	87	124
M8	96	4,0	6,94	11,6	86	102
M9	96	7,2	7,11	11,2	86	91
M10	94	3,0	6,84	10,3	85	54
M11	94	2,9	6,98	9,4	80	61
M12	94	3,1	7,05	8,4	84	66
M13	94	3,3	7,13	7,4	85	71
M14	95	3,2	7,07	7,3	82	77
M15	95	3,1	6,84	8,7	83	80

Pregled vrijednosti paralelnih mjerenja SRM i AMS uređaja svedenih na referentne (GVE) uvjete (volumen suhih plinova kod referentnog O_2 od 6 % pri 0 °C i 1013,25 hPa) potrebne za testove varijabilnosti i valjanosti linearnih regresija dan je u tab. 21 i tab. 22. Kako pomoćne veličine (ϑ , O_2 i H_2O) ne bi utjecale na prolaznost pojedinih AMS uređaja kod testova varijabilnosti, prilikom svođenja tzv. „sirovih“ vrijednosti AMS uređaja na referentne (GVE) uvjete korištene su vrijednosti pomoćnih veličina mjerene SRM uređajima. Dakle, umjesto vrijednosti AMS uređaja iz tab. 22 korištene su „sirove“ vrijednosti AMS uređaja svedene na referentne uvjete korištenjem vrijednosti pomoćnih veličina mjerenih SRM uređajima.

Tab. 21: Emisije iz presjeka nakon REA mjerene SRM uređajima svedene na referentne uvjete

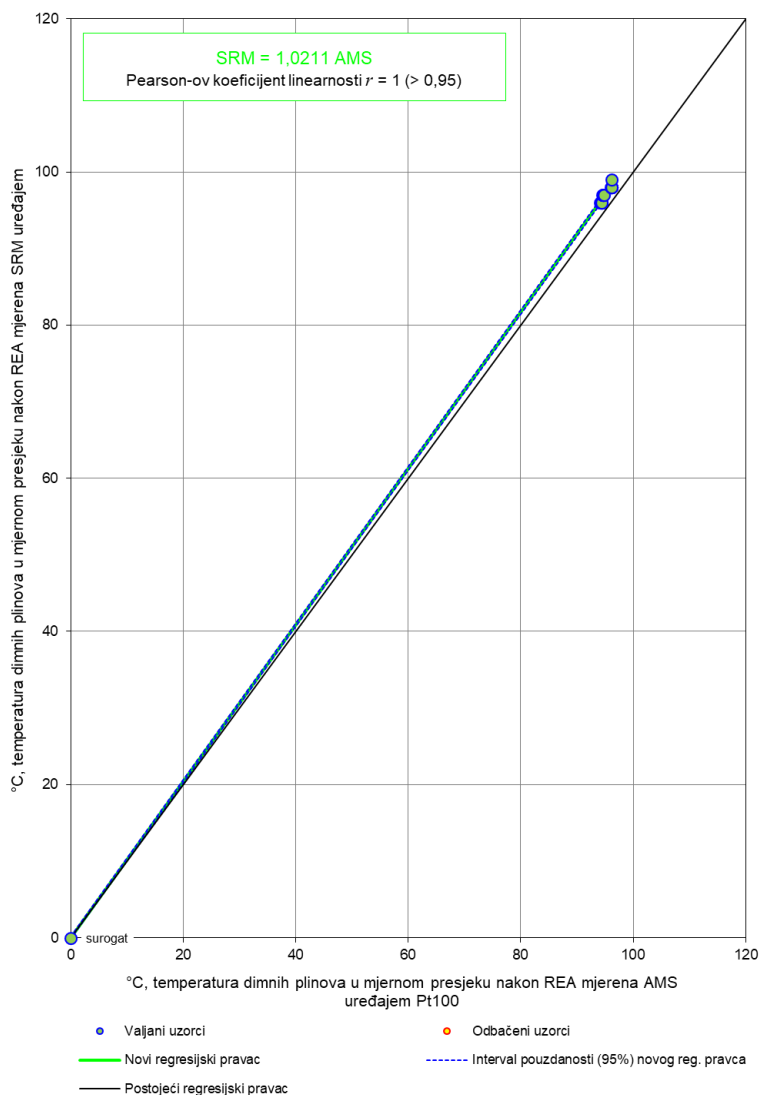
SRM (nakon REA)	<i>PM</i>	<i>CO</i>	<i>NO_x kao NO₂</i>	<i>SO₂</i>
	mg/m ³ _{ref}	mg/m ³ _{ref}	mg/m ³ _{ref}	mg/m ³ _{ref}
M1	7,3	11,7	127	48
M2	7,3	11,1	130	49
M3	5,8	12,0	109	46
M4	5,1	16,4	124	68
M5	4,8	16,5	132	79
M6	5,4	16,0	147	91
M7	6,2	15,4	138	101
M8	5,8	14,8	139	86
M9	9,7	14,4	142	75
M10	4,4	14,4	127	48
M11	5,1	13,4	116	54
M12	5,2	11,9	127	60
M13	5,1	10,2	129	64
M14	5,3	9,6	124	67
M15	5,7	11,1	125	68

Tab. 22: Emisije iz presjeka nakon REA mjerene AMS uređajima svedene na referentne uvjete

AMS (nakon REA)	<i>PM</i>	<i>CO</i>	<i>NO_x kao NO₂</i>	<i>SO₂</i>
	mg/m ³ _{ref}	mg/m ³ _{ref}	mg/m ³ _{ref}	mg/m ³ _{ref}
M1	7,5	6,8	136	59
M2	6,9	7,5	137	59
M3	6,4	8,7	119	54
M4	6,6	12,0	135	88
M5	6,1	12,6	138	100
M6	6,1	12,6	148	117
M7	5,7	12,6	141	131
M8	6,4	12,4	140	109
M9	11,8	12,1	143	98
M10	4,7	10,9	138	57
M11	4,7	10,0	131	65
M12	4,9	9,1	139	71
M13	5,3	8,0	141	76
M14	5,2	7,8	135	82
M15	4,9	9,2	134	85

3.2.1. Mjerenje temperature uređajem Pt100

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.



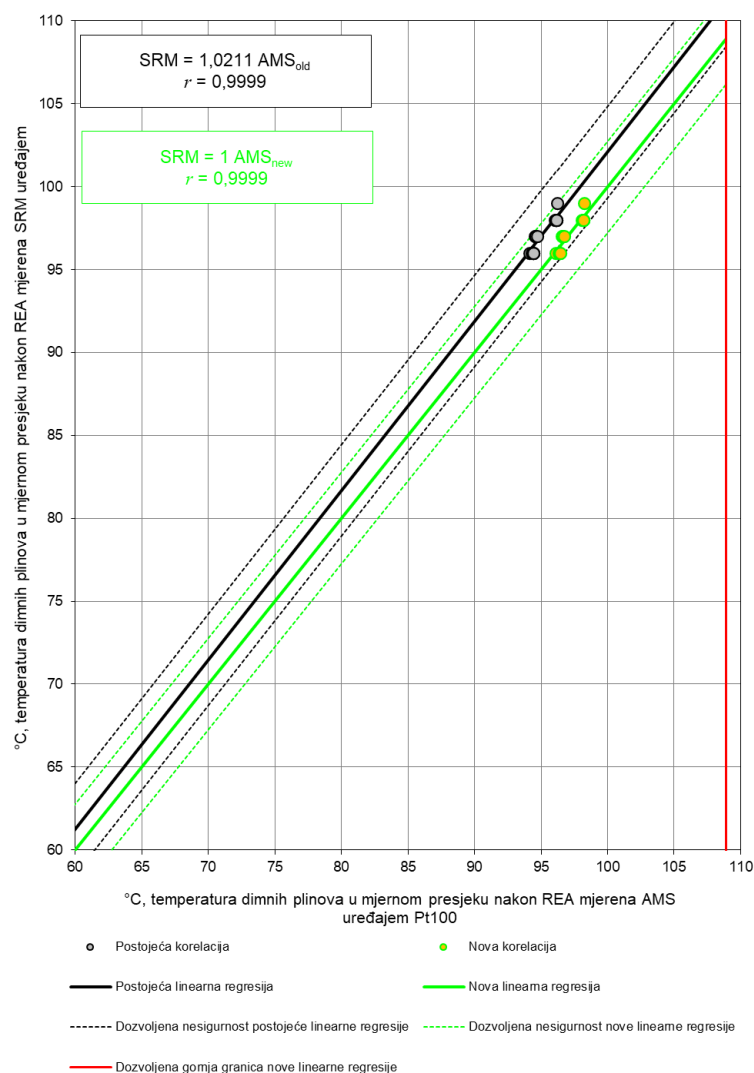
Sl. 23: Odnos postojećeg i novog regresijskog pravca AMS uređaja Pt100 za mjerenje temperature u mjernom presjeku nakon REA

Oba regresijska pravca prolaze kroz nultu točku ($\min_{\text{old}} = \min_{\text{new}} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Kako postojeći regresijski pravac ne leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca ($\text{AMS}_{\text{new}} = 1,0211 \cdot \text{AMS}_{\text{old}}$), razmotreno je usvajanje novog regresijskog pravca kako je prikazano na sl. 24. Uzimajući u obzir dozvoljenu mjernu nesigurnost ($\sigma_0 = \pm 2,75\text{ }^{\circ}\text{C}$), 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:

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

$$\max_{\text{new}} = \max_{\text{old}} = 200\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

U tab. 23 su dani rezultati testa varijabilnosti postojeće linearne regresije.



Sl. 24: Dozvoljena mjerna nesigurnost postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja Pt100 za mjerenje temperature u mjernom presjeku nakon REA

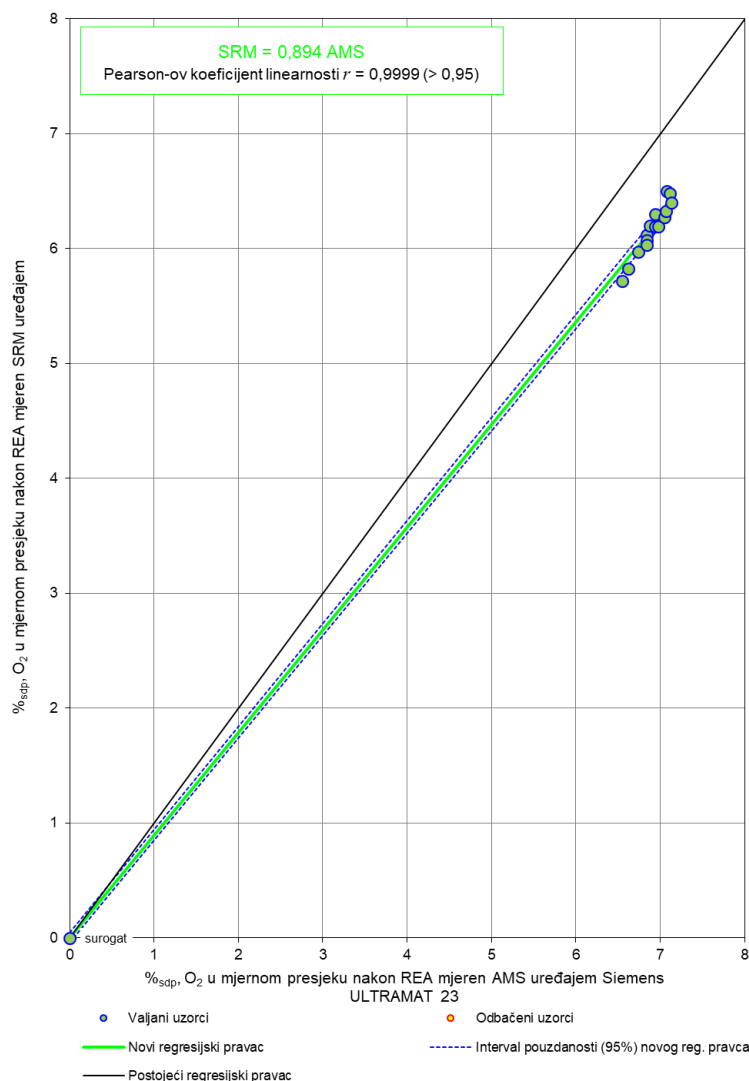
Tab. 23: Test varijabilnosti postojeće linearne regresije AMS uređaja Pt100 za mjerenje temperature u mjernom presjeku nakon REA

AMS _{new} = a + b · AMS _{old} AMS _i = min _i + $\frac{max_i - min_i}{16 \text{ mA}} \cdot (x - 4 \text{ mA})$; i ∈ {old, new}						QAL2 test varijabilnosti			
min _{old}	max _{old}	a	b	min _{new}	max _{new}	S _D ≤ σ ₀ · k _v			
°C	°C	°C	-	°C	°C	S _D	σ ₀	k _v	σ ₀ · k _v
0	200	0	1	0	200	0,37	2,75	0,98	2,69
Zadovoljava									

Kao što se vidi iz tab. 23, postojeća linearna regresija AMS uređaja Pt100 za mjerenje temperature u mjernom presjeku nakon REA uspješno prolazi test varijabilnosti. Postojeći regresijski pravac ($min_{new} = min_{old} = 0 \text{ °C}$, $max_{new} = max_{old} = 200 \text{ °C}$) se može zadržati i valjan je u rasponu od 0 °C do 109 °C.

3.2.2. Mjerenje O₂ uređajem Siemens ULTRAMAT 23

Na sl. 25 je prikazan postojeći i novi regresijski pravac određen na temelju rezultata petnaest (M1-M15) valjanih paralelnih mjerenja i jedne dodatne, tzv. surogat točke.



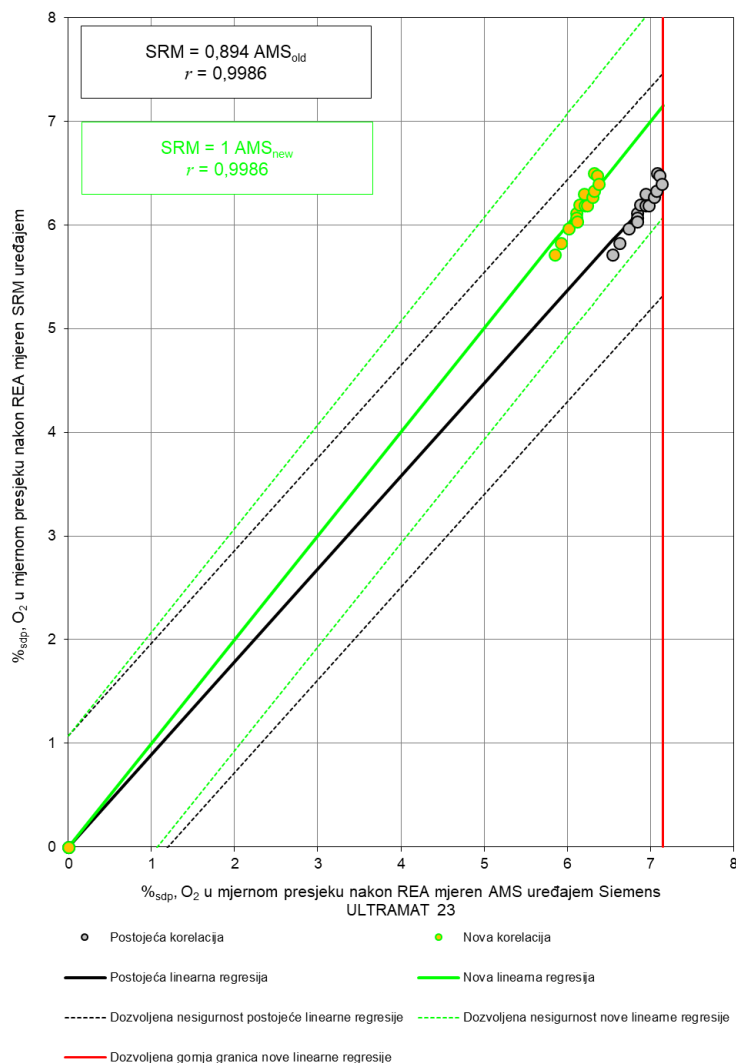
Sl. 25: Odnos postojećeg i novog regresijskog pravca AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje O₂ u suhim dimnim plinovima mjernog presjeka nakon REA

Oba regresijska pravca prolaze kroz nultu točku ($\min_{\text{old}} = \min_{\text{new}} = 0 \text{ \%}_{\text{sdp}}$). Kako postojeći regresijski pravac ne leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca usvajamo novi regresijski pravac ($\text{AMS}_{\text{new}} = 0,894 \cdot \text{AMS}_{\text{old}}$). Stoga se u emisijsko računalo moraju unijeti novi koeficijenti:

$$\min_{\text{new}} = a + b \cdot \min_{\text{old}} = 0 \text{ \%}_{\text{sdp}} + 0,894 \cdot 0 \text{ \%}_{\text{sdp}} = 0 \text{ \%}_{\text{sdp}},$$

$$\max_{\text{new}} = a + b \cdot \max_{\text{old}} = 21 \text{ \%}_{\text{sdp}} + 0,894 \cdot 21 \text{ \%}_{\text{sdp}} = 18,774 \text{ \%}_{\text{sdp}}.$$

Mjerna nesigurnost ($\sigma_0 = \pm 1,07 \text{ \%}_{\text{sdp}}$) postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje O₂ u suhim dimnim plinovima u mjernom presjeku nakon REA prikazana je na sl. 26. U tab. 24 su dani rezultati testa varijabilnosti nove linearne regresije.



Sl. 26: Dozvoljena mjerna nesigurnost postojeće i nove linearne regresije Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje O_2 u suhim dimnim plinovima mjernog presjeka nakon REA

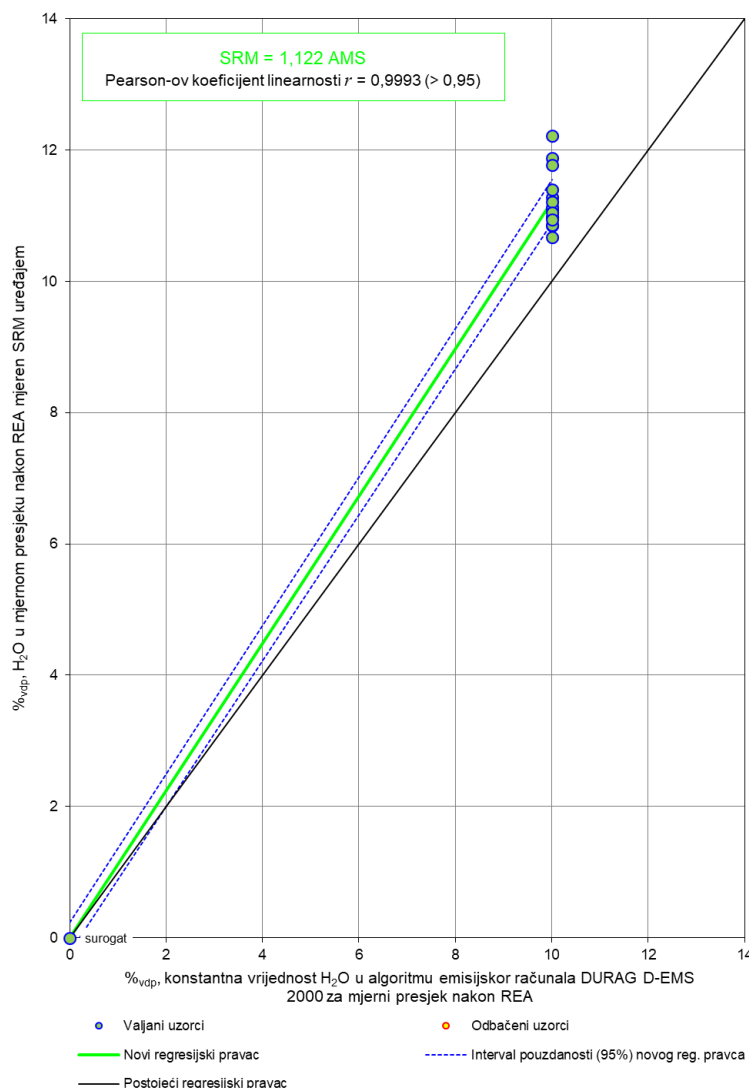
Tab. 24: Test varijabilnosti nove linearne regresije AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje O_2 u suhim dimnim plinovima mjernog presjeka nakon REA

$AMS_{new} = a + b \cdot AMS_{old}$ $AMS_i = min_i + \frac{max_i - min_i}{16 \text{ mA}} \cdot (x - 4 \text{ mA}); i \in \{old, new\}$						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	$\sigma_0 \cdot k_v$
%sdp	%sdp	%sdp	-	%sdp	%sdp	0,08	1,07	0,98	1,05
0	21	0	0,894	0	18,774	Zadovoljava			

Kao što se vidi iz tab. 24, nova linearna regresija AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje O_2 u suhim dimnim plinovima mjernog presjeka nakon REA uspješno prolazi test varijabilnosti. Novi regresijski pravac ($min_{new} = 0 \text{ \%sdp}$, $max_{new} = 18,774 \text{ \%sdp}$) valjan je u rasponu od $0 \text{ \%sdp}$ do $7,2 \text{ \%sdp}$.

3.2.3. Provjera konstante vlažnosti dimnih plinova

Na sl. 27 je prikazan postojeći i novi regresijski pravac određen na temelju rezultata petnaest (M1-M15) valjanih paralelnih mjerenja i jedne dodatne, tzv. surogat točke.

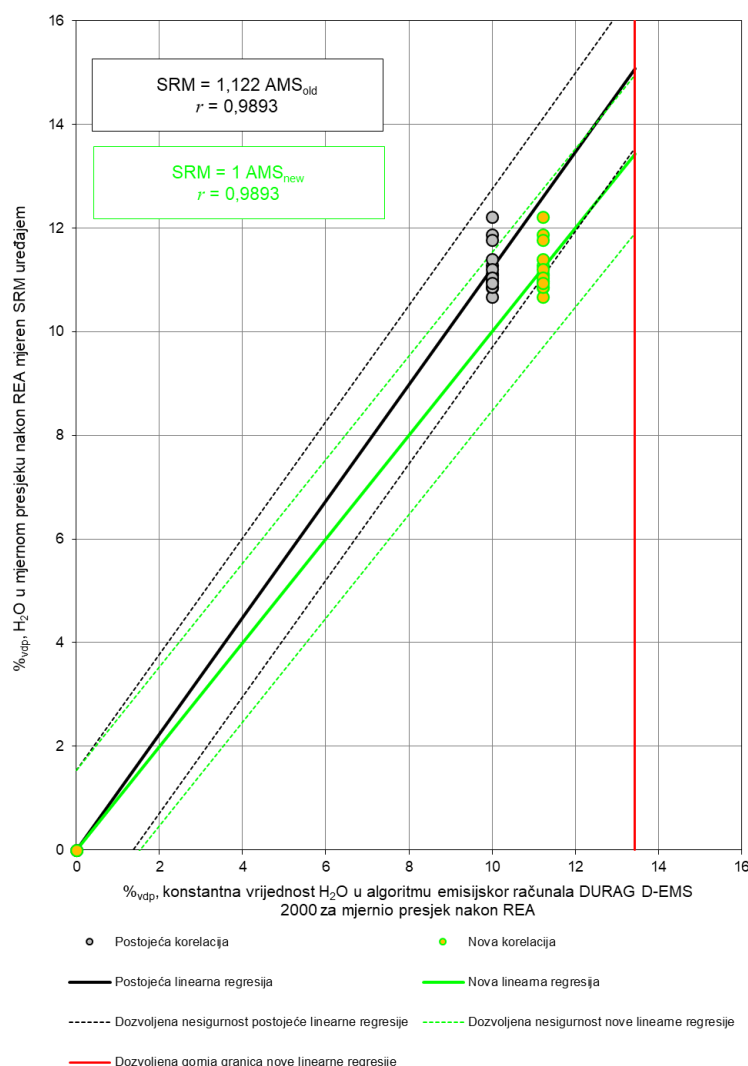


Sl. 27: Odnos postojećeg i novog fiktivnog regresijskog pravca za usvojenu konstantu vlažnosti dimnih plinova u mjernom presjeku nakon REA

Oba regresijska pravca prolaze kroz nultu točku ($\min_{\text{old}} = \min_{\text{new}} = 0 \text{ \%vdp}$). Kako postojeći fiktivni regresijski pravac ne leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca ($\text{AMS}_{\text{new}} = 1,122 \cdot \text{AMS}_{\text{old}}$), razmotreno je usvajanje novog fiktivnog regresijskog pravca (nove konstante) kako je prikazano na sl. 28. Uzimajući u obzir dozvoljenu mjernu nesigurnost ($\sigma_0 = \pm 1,53 \text{ \%vdp}$), može se vidjeti da postojeći fiktivni regresijski pravac u potpunosti leži unutar granica mjerne nesigurnosti novog pravca. Osim toga, prosječna greška izračuna korekcijskog koeficijenta $k_{\text{H}_2\text{O}}$ (prema jednadžbi (2)) za postojeću konstantu iznosi -1,36 % u odnosu na vrijednost dobivenu prema rezultatima mjerenja. Prema tome, postojeća konstanta se može zadržati te stoga vrijedi:

$$H_2O_{\text{new}} = H_2O_{\text{old}} = 10 \text{ \%vdp}.$$

Rezultati testa varijabilnosti postojeće fiktivne linearne regresije dani su u tab. 25.



Sl. 28: Dozvoljena mjerna nesigurnost postojeće i nove fiktivne linearne regresije konstante vlažnosti dimnih plinova u mjernom presjeku nakon REA

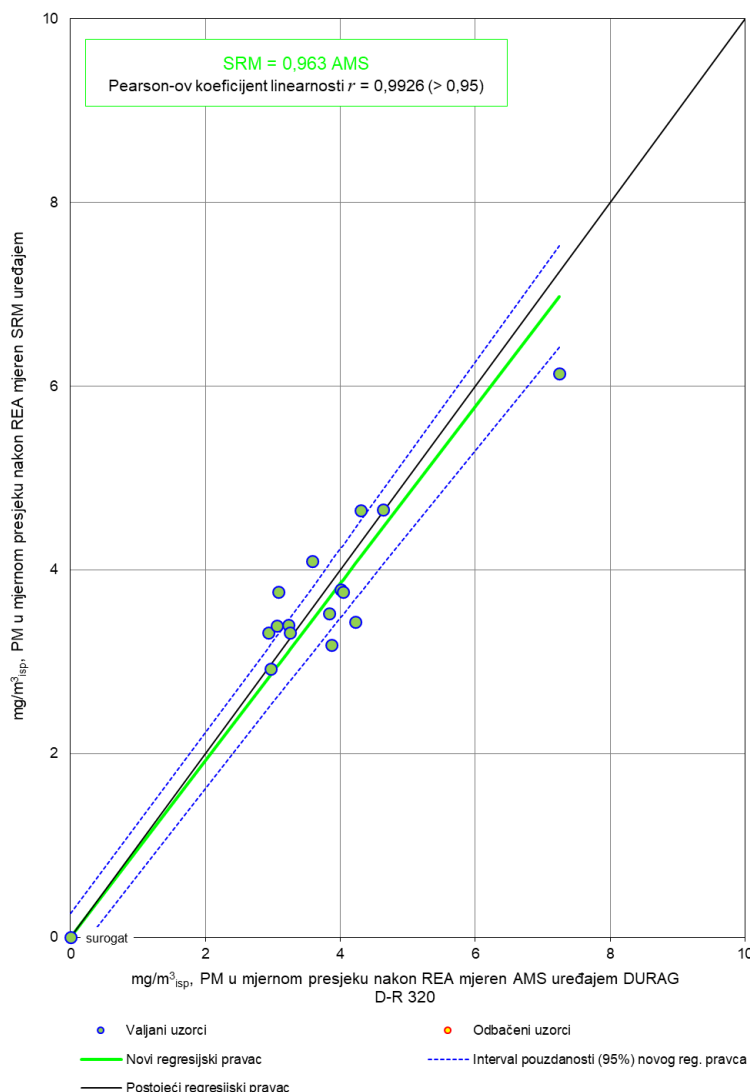
Tab. 25: Test varijabilnosti postojeće fiktivne linearne regresije AMS uređaja za usvojenu konstantu vlažnosti dimnih plinova u mjernom presjeku nakon REA

$AMS_{new} = a + b \cdot AMS_{old}$				QAL2 test varijabilnosti			
				$s_D \leq \sigma_0 \cdot k_v$			
H_2O_{old}	a	b	H_2O_{new}	s_D	σ_0	k_v	$\sigma_0 \cdot k_v$
%vdp	%vdp	-	%vdp	0,43	1,53	0,98	1,49
10	0	1	10	Zadovoljava			

Kao što se vidi iz tab. 25, usvojena konstanta vlažnosti dimnih plinova (H_2O) u mjernom presjeku nakon REA uspješno prolazi test varijabilnosti. Postojeća konstantna vrijednost $H_2O = 10$ %vdp koja je upisana u algoritmu emisijskog računala DURAG D-EMS 2000 se može zadržati.

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

Na sl. 29 je prikazan postojeći i novi regresijski pravac određen na temelju rezultata petnaest (M1-M15) valjanih paralelnih mjerenja i jedne dodatne, tzv. surogat točke.



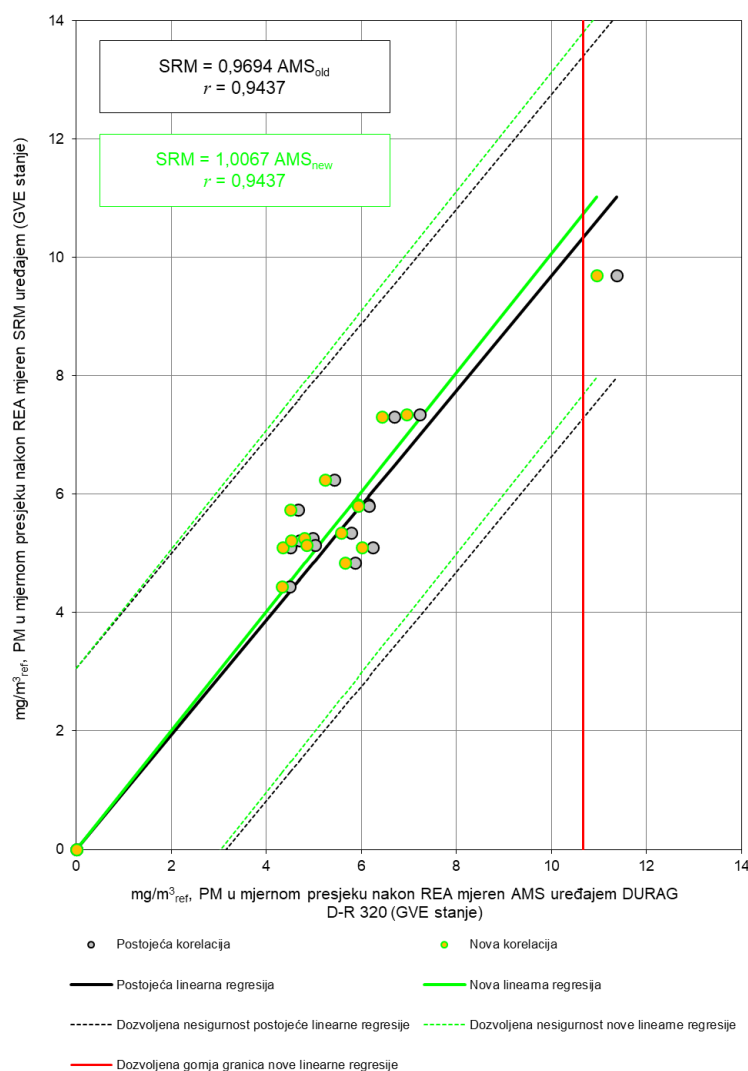
Sl. 29: Odnos postojećeg i novog regresijskog pravca AMS uređaja DURAG D-R 320 za mjerenje PM u mjernom presjeku nakon REA

Oba regresijska pravca prolaze kroz nultu točku ($a_{0\text{old}} = a_{0\text{new}} = 0 \text{ mg/m}^3_{\text{isp}}$). Kako postojeći regresijski pravac leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca ($\text{AMS}_{\text{new}} = 0,963 \cdot \text{AMS}_{\text{old}}$), zadržavaju se postojeći koeficijenti:

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

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

Mjerna nesigurnost ($\sigma_0 = \pm 3,06 \text{ mg/m}^3_{\text{ref}}$) postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja DURAG D-R 320 za mjerenje PM u mjernom presjeku nakon REA prikazana je na na sl. 30. Kod svođenja emisije krutih čestica izmjerenih AMS uređajem na referentne uvjete korištene su vrijednosti pomoćnih veličina mjerene SRM uređajima (ϑ , H_2O i O_2). U tab. 26 su dani rezultati testa varijabilnosti postojeće linearne regresije.



Sl. 30: Dozvoljena mjerna nesigurnost postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja DURAG D-R 320 za mjerenje PM u mjernom presjeku nakon REA

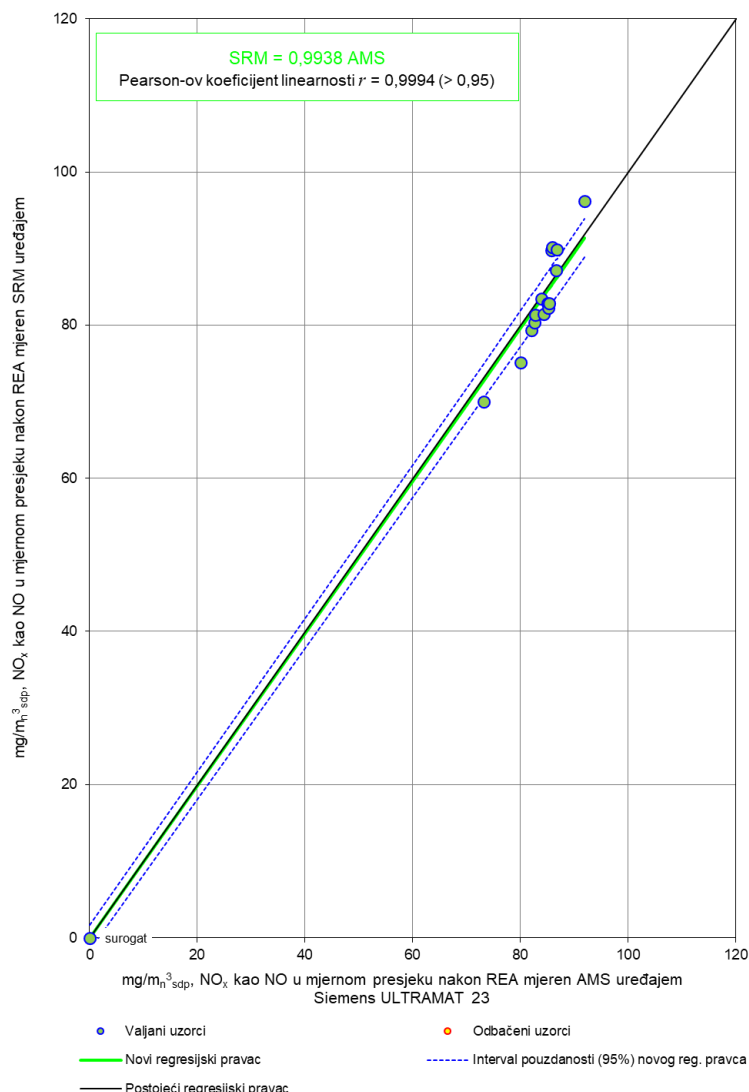
Tab. 26: Test varijabilnosti postojeće linearne regresije AMS uređaja DURAG D-R 320 za mjerenje PM u mjernom presjeku nakon REA

$AMS_{new} = a + b \cdot AMS_{old}$ $AMS_i = a_{0i} + a_{1i} \cdot SL; i \in \{old, new\}$						QAL2 test varijabilnosti			
						$s_D \leq \sigma_0 \cdot k_v$			
a_{0old}	a_{1old}	a	b	a_{0new}	a_{1new}	s_D	σ_0	k_v	$\sigma_0 \cdot k_v$
mg/m ³ _{isp}	mg/m ³ _{isp}	mg/m ³ _{isp}	-	mg/m ³ _{isp}	mg/m ³ _{isp}	0,78	3,06	0,98	2,99
0	0,006	0	1	0	0,006	Zadovoljava			

Kao što se vidi iz tab. 26, postojeća linearna regresija AMS uređaja DURAG D-R 320 za mjerenje masene koncentracije krutih čestica (PM) u mjernom presjeku nakon REA uspješno prolazi test varijabilnosti. Postojeći regresijski pravac ($a_{0new} = a_{0old} = 0 \text{ mg/m}^3_{isp}$, $a_{1new} = a_{1old} = 0,006 \text{ mg/m}^3_{isp}$) se može zadržati i valjan je u rasponu od 0 mg/m^3_{ref} do $10,7 \text{ mg/m}^3_{ref}$.

3.2.5. Mjerenje NO_x uređajem Siemens ULTRAMAT 23

Na sl. 31 je prikazan postojeći i novi regresijski pravac određen na temelju rezultata petnaest (M1-M15) valjanih paralelnih mjerenja i jedne dodatne, tzv. surogat točke.



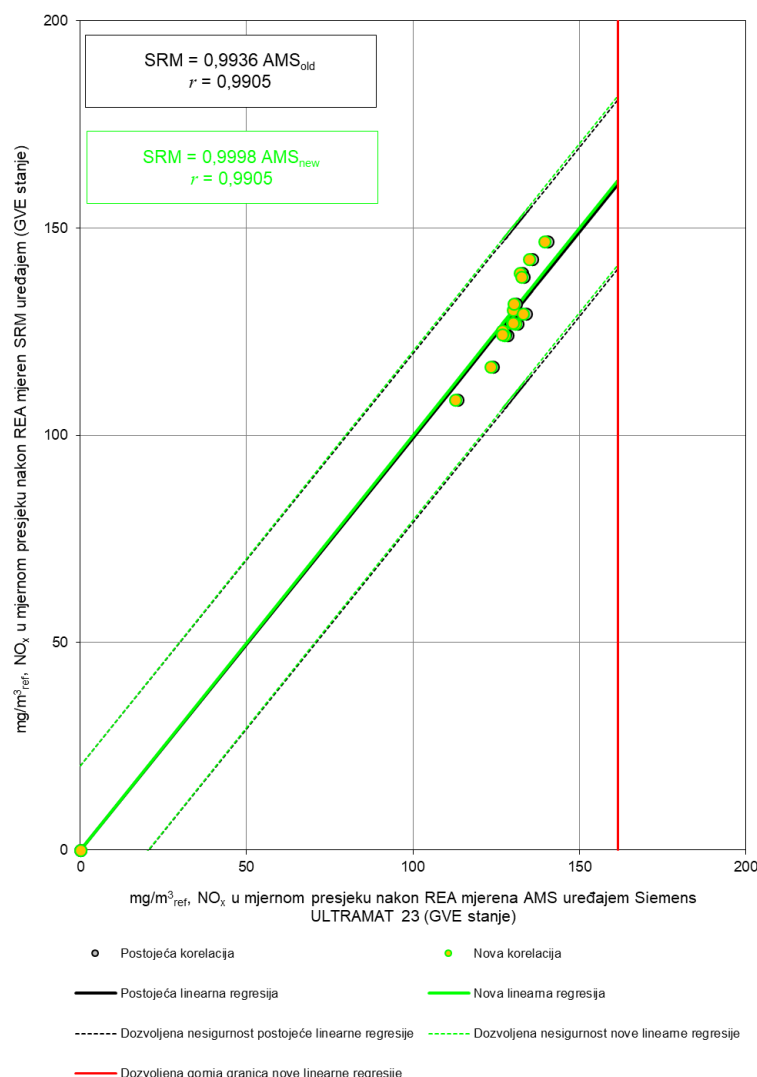
Sl. 31: Odnos postojećeg i novog regresijskog pravca AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje NO_x u suhim dimnim plinovima mjernog presjeka nakon REA

Oba regresijska pravca prolaze kroz nultu točku ($\min_{\text{old}} = \min_{\text{new}} = 0 \text{ mg/m}^3_{\text{sdp}}$). Kako postojeći regresijski pravac ne leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca ($\text{AMS}_{\text{new}} = 0,9938 \cdot \text{AMS}_{\text{old}}$), razmotreno je usvajanje novog regresijskog pravca kako je prikazano na sl. 32. Uzimajući u obzir dozvoljenu mjernu nesigurnost ($\sigma_0 = \pm 20,41 \text{ mg/m}^3_{\text{ref}}$), 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:

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

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

Kod svođenja 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. 27 su dani rezultati testa varijabilnosti postojeće linearne regresije.



Sl. 32: Dozvoljena mjerna nesigurnost postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje NO_x u suhim dimnim plinovima mjernog presjeka nakon REA

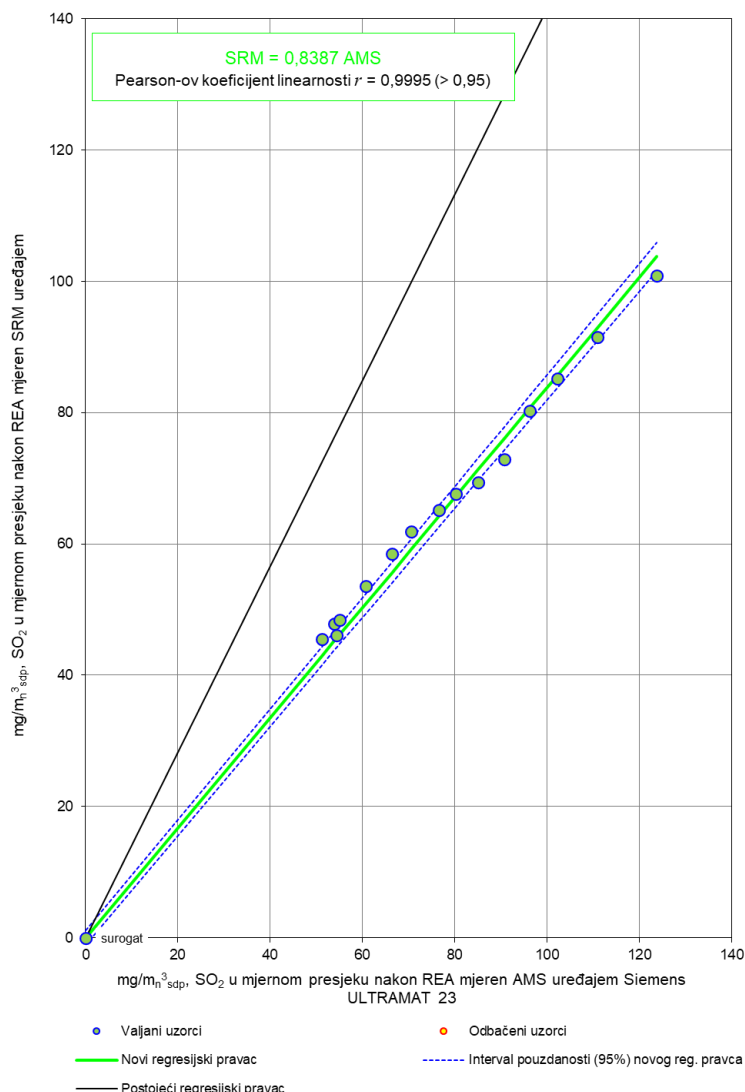
Tab. 27: Test varijabilnosti postojeće linearne regresije AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje NO_x u suhim dimnim plinovima mjernog presjeka nakon REA

AMS _{new} = a + b · AMS _{old} AMS _i = min _i + $\frac{max_i - min_i}{16 \text{ mA}} \cdot (x - 4 \text{ mA})$; i ∈ {old, new}						QAL2 test varijabilnosti			
						S _D ≤ σ ₀ · 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}	4,79	20,41	0,98	19,92
0	2 000	0	1	0	2 000	Zadovoljava			

Kao što se vidi iz tab. 27, postojeća linearna regresija AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje NO_x kao NO u suhim dimnim plinovima mjernog presjeka nakon REA uspješno prolazi test varijabilnosti. Postojeći regresijski pravac (min_{new} = min_{old} = 0 mg/m³_{sdp}, max_{new} = max_{old} = 2 000 mg/m³_{sdp}) se može zadržati i valjan je u rasponu od 0 mg/m³_{ref} do 162 mg/m³_{ref}.

3.2.6. Mjerenje SO_2 uređajem Siemens ULTRAMAT 23

Na sl. 33 je prikazan postojeći i novi regresijski pravac određen na temelju rezultata petnaest (M1-M15) valjanih paralelnih mjerenja i jedne dodatne, tzv. surogat točke.



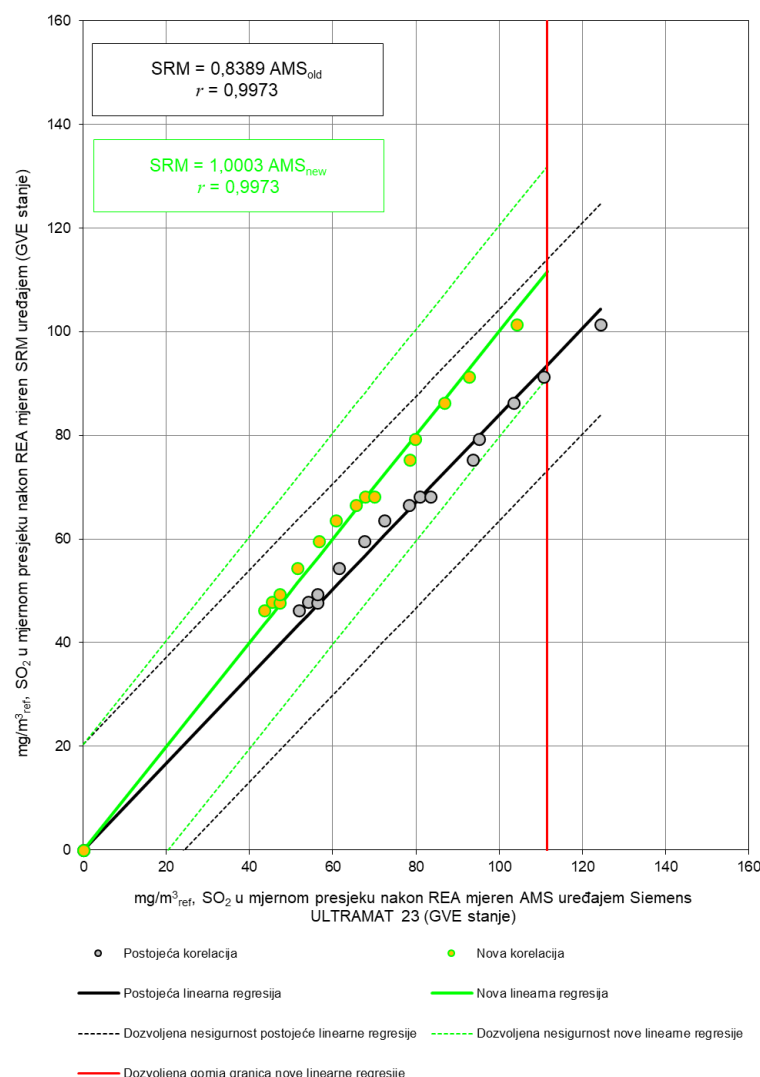
Sl. 33: Odnos postojećeg i novog regresijskog pravca AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje SO_2 u suhim dimnim plinovima mjernog presjeka nakon REA

Oba regresijska pravca prolaze kroz nultu točku ($\min_{\text{old}} = \min_{\text{new}} = 0 \text{ mg/m}_n^3 \text{ sdp}$). Kako postojeći regresijski pravac ne leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca usvajamo novi regresijski pravac ($\text{AMS}_{\text{new}} = 0,8387 \cdot \text{AMS}_{\text{old}}$). Stoga se u emisijsko računalo moraju unijeti novi koeficijenti:

$$\min_{\text{new}} = a + b \cdot \min_{\text{old}} = 0 \text{ mg/m}_n^3 \text{ sdp} + 0,8387 \cdot 0 \text{ mg/m}_n^3 \text{ sdp} = 0 \text{ mg/m}_n^3 \text{ sdp},$$

$$\max_{\text{new}} = a + b \cdot \max_{\text{old}} = 0 \text{ mg/m}_n^3 \text{ sdp} + 0,8387 \cdot 2\,832 \text{ mg/m}_n^3 \text{ sdp} = 2\,375 \text{ mg/m}_n^3 \text{ sdp}.$$

Mjerna nesigurnost ($\sigma_0 = \pm 20,41 \text{ mg/m}_n^3 \text{ ref}$) postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje emisije SO_2 u mjernom presjeku nakon REA prikazana je na sl. 34. Kod svođenja emisije SO_2 izmjerenih AMS uređajem Siemens ULTRAMAT 23 na referentne uvjete korištene su vrijednosti O_2 mjerene SRM uređajem. U tab. 28 su dani rezultati testa varijabilnosti nove linearne regresije.



Sl. 34: Dozvoljena mjerna nesigurnost postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje SO₂ u suhim dimnim plinovima mjernog presjeka nakon REA

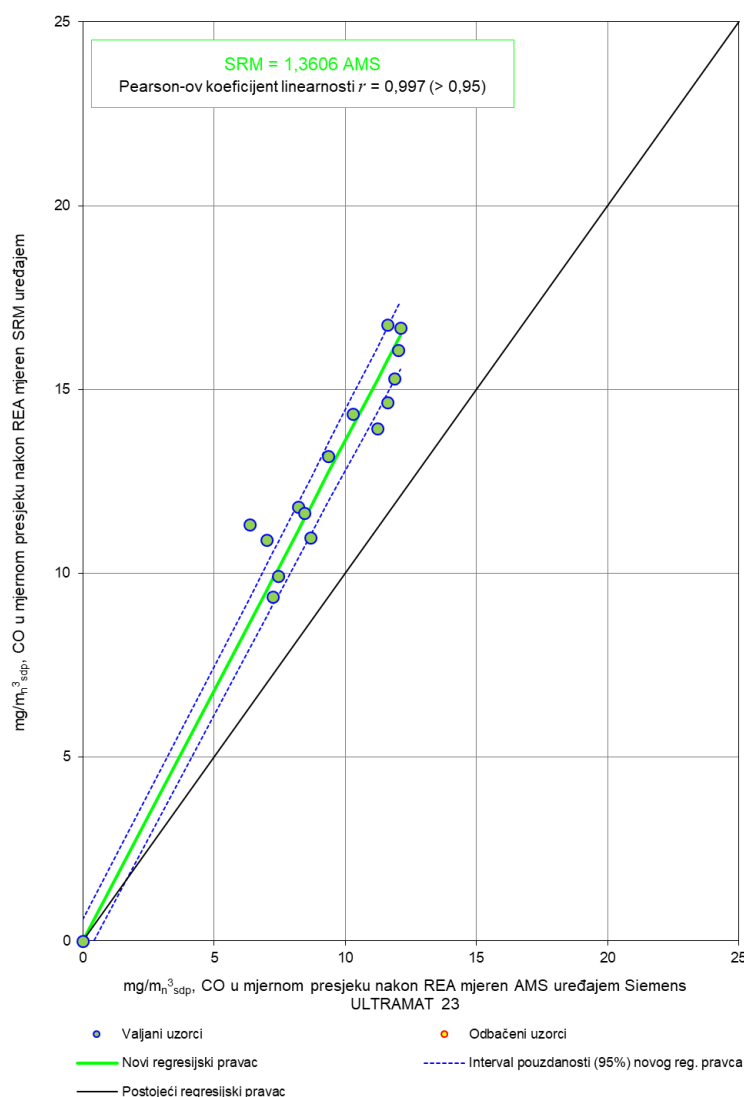
Tab. 28: Test varijabilnosti nove linearne regresije AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje SO₂ u suhim plinovima mjernog presjeka nakon REA

AMS _{new} = a + b · AMS _{old} AMS _i = min _i + $\frac{max_i - min_i}{16 \text{ mA}} \cdot (x - 4 \text{ mA})$; i ∈ {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	σ ₀ · k _v
mg/m ³ _{sdp}	mg/m ³ _{sdp}	mg/m ³ _{sdp}	-	mg/m ³ _{sdp}	mg/m ³ _{sdp}	2,15	20,41	0,98	19,92
0	2 832	0	0,8387	0	2 375	Zadovoljava			

Kao što se vidi iz tab. 28, nova linearna regresija AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje SO₂ u suhim dimnim plinovima mjernog presjeka nakon REA uspješno prolazi test varijabilnosti. Novi regresijski pravac ($min_{new} = 0 \text{ mg/m}^3_{sdp}$, $max_{new} = 2\,375 \text{ mg/m}^3_{sdp}$) je valjan je u rasponu od 0 mg/m³_{ref} do 112 mg/m³_{ref}.

3.2.7. Mjerenje CO uređajem Siemens ULTRAMAT 23

Na sl. 35 je prikazan postojeći i novi regresijski pravac određen na temelju rezultata petnaest (M1-M15) valjanih paralelnih mjerenja i jedne dodatne, tzv. surogat točke.



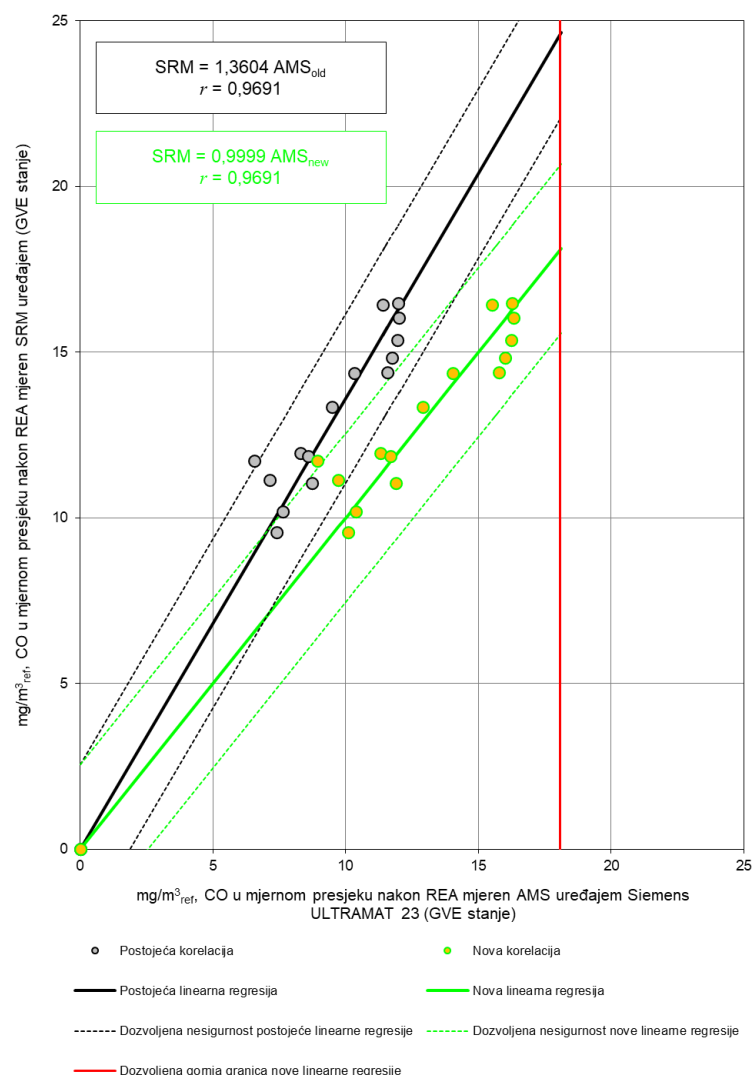
Sl. 35: Odnos postojećeg i novog regresijskog pravca AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje CO u suhim dimnim plinovima mjernog presjeka nakon REA

Oba regresijska pravca prolaze kroz nultu točku ($\min_{\text{old}} = \min_{\text{new}} = 0 \text{ mg/m}^3_{\text{sdp}}$). Kako postojeći regresijski pravac ne leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca usvajamo novi regresijski pravac ($\text{AMS}_{\text{new}} = 1,3606 \cdot \text{AMS}_{\text{old}}$). Stoga se u emisijsko računalo moraju unijeti novi koeficijenti:

$$\min_{\text{new}} = a + b \cdot \min_{\text{old}} = 0 \text{ mg/m}^3_{\text{sdp}} + 1,3606 \cdot 0 \text{ mg/m}^3_{\text{sdp}} = 0 \text{ mg/m}^3_{\text{sdp}},$$

$$\max_{\text{new}} = a + b \cdot \max_{\text{old}} = 0 \text{ mg/m}^3_{\text{sdp}} + 1,3606 \cdot 1\,000 \text{ mg/m}^3_{\text{sdp}} = 1\,361 \text{ mg/m}^3_{\text{sdp}}.$$

Mjerna nesigurnost ($\sigma_0 = \pm 2,55 \text{ mg/m}^3_{\text{ref}}$) postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje emisije CO u mjernom presjeku nakon REA prikazana je na sl. 36. Kod svođenja emisije CO izmjerenih AMS uređajem Siemens ULTRAMAT 23 na referentne uvjete korištene su vrijednosti O_2 mjerene SRM uređajem. U tab. 29 su dani rezultati testa varijabilnosti nove linearne regresije.



Sl. 36: Dozvoljena mjerna nesigurnost postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje CO u suhim dimnim plinovima mjernog presjeka nakon REA

Tab. 29: Test varijabilnosti nove linearne regresije AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje CO u suhim dimnim plinovima mjernog presjeka nakon REA

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 ≤ σ ₀ · 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}	1,08	2,55	0,98	2,49
0	1 000	0	1,3606	0	1 361	Zadovoljava			

Kao što se vidi iz tab. 29, nova linearna regresija AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje CO u suhim dimnim plinovima mjernog presjeka nakon REA uspješno prolazi test varijabilnosti. Novi regresijski pravac ($min_{new} = 0 \text{ mg/m}^3_{sdp}$, $max_{new} = 1\,361 \text{ mg/m}^3_{sdp}$) je valjan je u rasponu od 0 mg/m^3_{ref} do $18,1 \text{ mg/m}^3_{ref}$.

4. ZAKLJUČAK

Umjeravanje uređaja za kontinuirano mjerenje emisija u zrak TE Plomin 2 (AMS prije i AMS nakon REA) 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. 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 proširenu mjernu nesigurnost. Kako bi uređaji AMS prije REA bili umjereni potrebno je provesti radnje dane u tab. 30, a osvrt na rezultate umjeravanja uređaja AMS nakon REA dan je u tab. 31.

Tab. 30: Rezultati umjeravanja uređaja AMS prije REA

Mjerena veličina	Postojeće postavke sustava AMS prije REA	Novе postavke sustava AMS prije REA	Napomena
Ugljikov monoksid CO	Minimum: 0 mg/m ³ Maksimum: 1 000 mg/m ³	Minimum: 0 mg/m ³ Maksimum: 1 000 mg/m ³	Ne treba mijenjati postavke uređaja.
Sumporov dioksid SO_2	Minimum: 0 mg/m ³ Maksimum: 2 149 mg/m ³	Minimum: 0 mg/m ³ Maksimum: 2 061 mg/m ³	Jednadžba novog pravca: $SO_2 = [134,2875 \cdot (mA) - 537,15] \cdot 0,9591$ $SO_2 = 128,7951 \cdot (mA) - 515,18$
Dušikovi oksidi NO_x	Minimum: 0 mg/m ³ Maksimum: 2 150 mg/m ³	Minimum: 0 mg/m ³ Maksimum: 1 857 mg/m ³	Jednadžba novog pravca: $NO = [134,3625 \cdot (mA) - 537,45] \cdot 0,8639$ $NO = 116,0758 \cdot (mA) - 464,30$ $NO_x = NO \cdot 1,53$
Krute čestice PM	Minimum: 0 mg/m ³ Maksimum: 200 mg/m ³ $PM = a_0 + a_1 \cdot SL$ calibration offset a_0 : 0 calibration slope a_1 : 0,0175	Minimum: 0 mg/m ³ Maksimum: 200 mg/m ³ $PM = a_0 + a_1 \cdot SL$ calibration offset a_0 : 0 calibration slope a_1 : 0,00611	Umjeravanje AMS uređaja DURAG D-R 320 (serijski broj: 1253255) treba provesti promjenom postavki samog uređaja, odnosno promjenom kalibracijskih faktora mjerenja masene koncentracije krutih čestica (<i>Parameter Report</i> uređaja; poglavlje <i>Device settings</i> na str. 8 gdje su navedene kalibracijske postavke (<i>Gravimetric calibration</i>)).
Kisik O_2	Minimum: 0 % Maksimum: 21 %	Minimum: 0 % Maksimum: 21 %	Ne treba mijenjati postavke uređaja.
Temperatura dimnih plinova ϑ	Minimum: 0 °C Maksimum: 200 °C	Minimum: 0 °C Maksimum: 200 °C	Ne treba mijenjati postavke uređaja.
Protok dimnih plinova Q	Minimum: 0 m ³ /h Maksimum: 1 500 000 m ³ /h $Q_{cal} = a_0 + a_1 \cdot Q + a_2 \cdot Q^2 + a_3 \cdot Q^3$ offset a_0 : 0 slope a_1 : 1,0305 slope a_2 : 0 slope a_3 : 0	Minimum: 0 m ³ /h Maksimum: 1 500 000 m ³ /h $Q_{cal} = a_0 + a_1 \cdot Q + a_2 \cdot Q^2 + a_3 \cdot Q^3$ offset a_0 : 0 slope a_1 : 0,9894 slope a_2 : 0 slope a_3 : 0	Umjeravanje AMS uređaja DURAG D-FL 220 (serijski broj: 1265313) treba provesti promjenom postavki samog uređaja, odnosno promjenom kalibracijskih faktora mjerenja protoka dimnih plinova (<i>Parameter Report</i> uređaja; poglavlje <i>Variable setup (Channel #2)</i> na str. 4 gdje su navedene kalibracijske postavke mjerenja protoka dimnih plinova).
Protok dimnih plinova (sekundarni) $Q_{sekundarni}$	-	-	Uređaj nije bio ispravan.
Vlažnost plinova H_2O	Konstanta: 8,4 %	Konstanta: 8,4 %	Postojeća konstanta se može zadržati.

Tab. 31: Rezultati umjeravanja uređaja AMS nakon REA

Mjerena veličina	Postojeće postavke sustava AMS nakon REA	Nove postavke sustava AMS nakon REA	Napomena
Ugljikov monoksid CO	Minimum: 0 mg/m ³ Maksimum: 1 000 mg/m ³	Minimum: 0 mg/m ³ Maksimum: 1 361 mg/m ³	Jednadžba novog pravca: $CO = [62,5 \cdot (mA) - 250] \cdot 1,3606$ $CO = 85,0375 \cdot (mA) - 340,15$
Sumporov dioksid SO_2	Minimum: 0 mg/m ³ Maksimum: 2 832 mg/m ³	Minimum: 0 mg/m ³ Maksimum: 2 375 mg/m ³	Jednadžba novog pravca: $SO_2 = [176,975 \cdot (mA) - 707,9] \cdot 0,8387$ $SO_2 = [148,4289 \cdot (mA) - 593,72]$
Dušikovi oksidi NO_x	Minimum: 0 mg/m ³ Maksimum: 2 000 mg/m ³	Minimum: 0 mg/m ³ Maksimum: 2 000 mg/m ³	Ne treba mijenjati postavke uređaja.
Krute čestice PM	Minimum: 0 mg/m ³ Maksimum: 200 mg/m ³ $PM = a_0 + a_1 \cdot SL$ calibration offset a_0 : 0 calibration slope a_1 : 0,006	Minimum: 0 mg/m ³ Maksimum: 200 mg/m ³ $PM = a_0 + a_1 \cdot SL$ calibration offset a_0 : 0 calibration slope a_1 : 0,006	Ne treba mijenjati postavke uređaja DURAG D-R 320 (serijski broj: 1247031).
Kisik O_2	Minimum: 0 % Maksimum: 21 %	Minimum: 0 % Maksimum: 18,774 %	Jednadžba novog pravca: $O_2 = [1,3125 \cdot (mA) - 5,25] \cdot 0,894$ $O_2 = [1,1734 \cdot (mA) - 4,69]$
Temperatura dimnih plinova ϑ	Minimum: 0 °C Maksimum: 200 °C	Minimum: 0 °C Maksimum: 200 °C	Ne treba mijenjati postavke uređaja.
Vlažnost plinova H_2O	Konstanta: 10 %	Konstanta: 10 %	Postojeća konstanta se može zadržati.

KRATICE I INDEKSI

AMS	engl. <i>Automated Measuring System</i> , Automatski Mjerni Sustav ili sustav za kontinuirano mjerenje emisije u zrak, isto što i CEMS.
CEMS	sustav za kontinuirano mjerenja emisija u zrak (engl. <i>Continuous Emissions Monitoring System</i>), isto što i AMS.
C_{ref}	emisija (općenito, bilo koja emisijska veličina) svedena na volumen suhih plinova kod referentnog udjela O_2 u suhim plinovima pri 0 °C i 1013,25 hPa.
HAA	Hrvatska Akreditacijska Agencija.
m^3	metar kubni.
m^3_{isp}	normi m^3 koji se odnosi na stanje u ispustu, odnosno m^3 kod tlaka i temperature u ispustu.
m_n^3	normirani m^3 , predstavlja količinu (broj molekula) idealnog plina koja kod 273,15 K (0 °C) i 1013,25 hPa bar zauzima volumen od 1 m^3 .
$m_n^3_{sdp}$	normirani m^3 koji se odnosi na suhe plinove pri sadržaju O_2 mjerenom u ispustu.
$m_n^3_{vdp}$	normirani m^3 koji se odnosi na vlažne plinove pri sadržaju O_2 mjerenom u ispustu.
m^3_{vdp}	m^3 koji se odnosi na vlažne plinove pri sadržaju O_2 mjerenom u ispustu.
m^3_{ref}	normirani m^3 koji se odnosi na suhe plinove pri referentnom sadržaju O_2 - odnosno m^3 sveden na referentne uvjete plinova prema <i>Uredbi o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora</i> („Narodne novine“ 87/2017). Na primjer, za oba mjerna presjeka TE Plomin 2 m^3 pri referentnom stanju (m^3_{ref}) se odnosi na volumen suhih plinova kod referentnog O_2 od 6 % pri 0 °C i 1013,25 hPa.
%	volumni udio iskazan u postotku.
% _{sdp}	volumni udio u suhom plinu pri sadržaju O_2 mjerenom u ispustu iskazan u postotku.
% _{vdp}	volumni udio u vlažnom plinu pri sadržaju O_2 mjerenom u ispustu iskazan u postotku.
ppm	engl. <i>parts per million</i> , udio u milijun, ovdje se radi o volumnom udjelu, 1 ppm = 10^{-4} %.
SL	engl. <i>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).

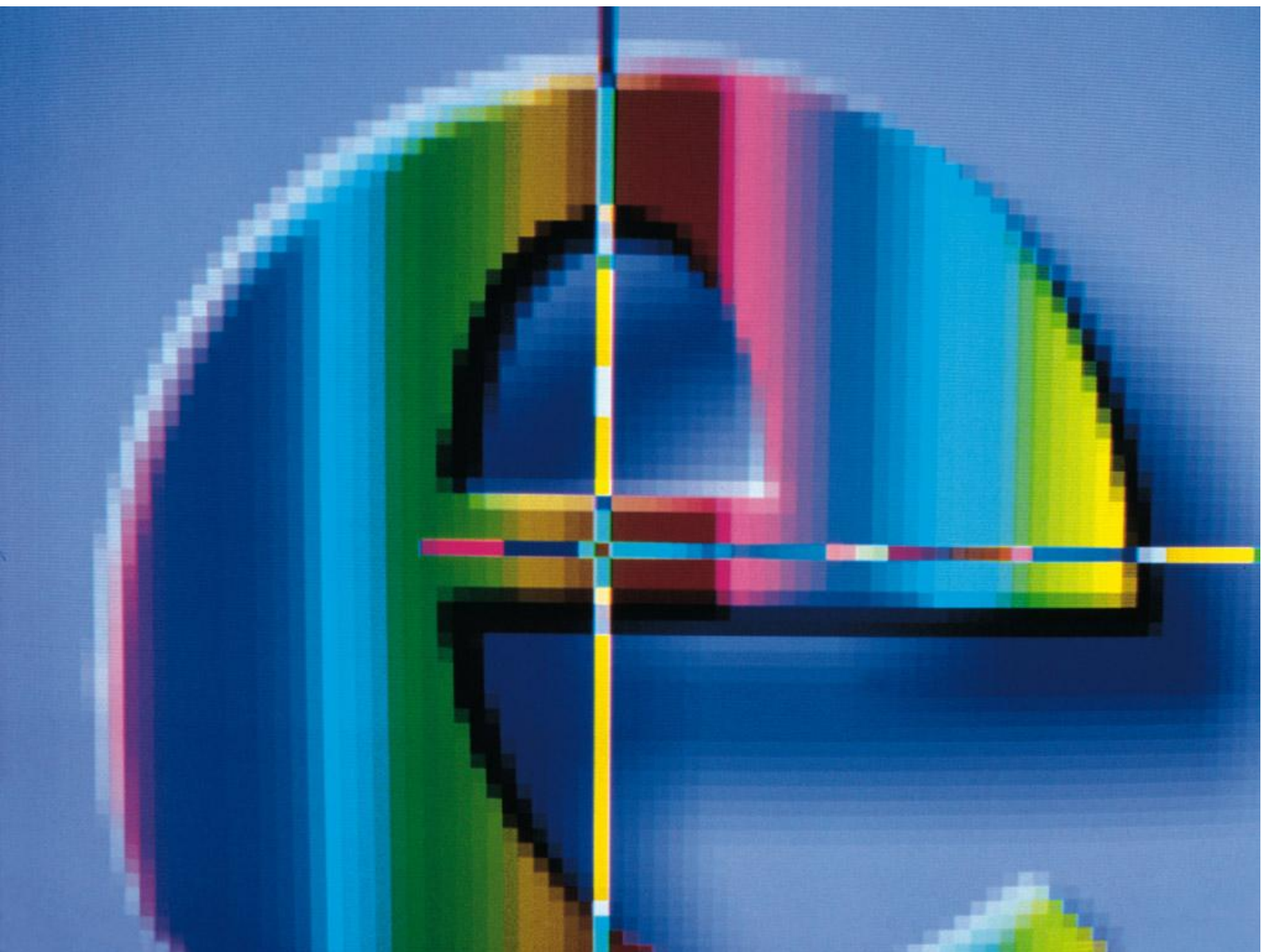
POJMOVNIK

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

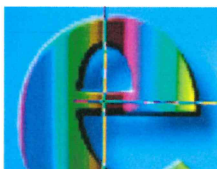
PRILOG A

Izveštaj o mjerenju emisija iz mjernih presjeka prije i nakon postrojenja za odsumporavanje dimnih plinova TE Plomin 2, EKONERG - Laboratorij za mjerenje emisija, izveštaj L1-I-02-2234_20/25, 23. listopada 2025.

**IZVJEŠTAJ O MJERENJU EMISIJA
IZ MJERNIH PRESJEKA PRIJE I
NAKON POSTROJENJA ZA
ODSUMPORAVANJE DIMNIH
PLINOVA TE PLOMIN 2**



Zagreb, 2025.



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



Naručitelj:

HEP PROIZVODNJA d.o.o.
Sektor za termoelektrane
Pogon TE Plomin
Plomin luka 50
52234 Plomin Luka

Ugovor br.:

U2700-42/24

Radni nalog:

I-02-2234_20/25

Oznaka izvještaja:

L1-I-02-2234_20/25

Plan mjerenja:

L1-I-02-2234_20/25-P

Naslov:

**IZVJEŠTAJ O MJERENJU EMISIJA IZ MJERNIH PRESJEKA PRIJE I NAKON
POSTROJENJA ZA ODSUMPORAVANJE DIMNIH PLINOVA TE PLOMIN 2**

Ispitivanja proveli:

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

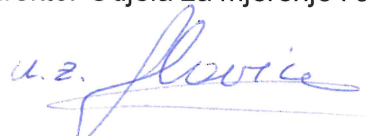
Izvještaj izradio:

Andrej Slavica, mag. ing. mech.

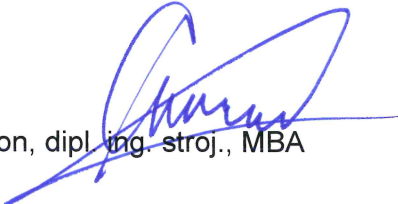
Voditelj Laboratorija za mjerenje emisija:


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, 23. 10. 2025.



SADRŽAJ

1. OSNOVNI PODATCI O IZVOĐAČU MJERENJA.....	2
2. OSNOVNI PODATCI I TEHNIČKE ZNAČAJKE IZVORA ONEČIŠĆENJA	2
3. OPSEG MJERENJA	3
4. PRIMIJENJENE METODE I MJERNI UREĐAJI	4
4.1. MJERENJE SASTAVA PLINOVA.....	5
4.2. MJERENJE VOLUMNOG UDJELA VODENE PARE	6
4.3. MJERENJE MASENE KONCENTRACIJE KRUTIH ČESTICA.....	6
4.4. MJERENJE BRZINE PLINOVA	7
4.5. MJERENJE TEMPERATURE PLINOVA	7
4.6. TLAK PLINOVA U ISPUSTU	7
4.7. BAROMETARSKI TLAK I TEMPERATURA OKOLINE	7
5. REŽIMI RADA ZA VRIJEME MJERENJA.....	8
5.1. MJERNI PRESJEK PRIJE REA.....	8
5.2. MJERNI PRESJEK NAKON REA	9
6. REZULTATI MJERENJA	11
6.1. MJERNI PRESJEK PRIJE REA.....	11
6.2. MJERNI PRESJEK NAKON REA	14

PRILOG

B. Plan mjerenja.



1. OSNOVNI PODATCI O IZVOĐAČU MJERENJA

Mjerenje emisija u dimovodnim kanalima prije i nakon postrojenja za odsumporavanje dimnih plinova TE Plomin 2 proveo je *Laboratorij za mjerenje emisija* tvrtke EKONERG d.o.o.

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

2. OSNOVNI PODATCI I TEHNIČKE ZNAČAJKE IZVORA ONEČIŠĆENJA

TE Plomin 2 je postrojenje za proizvodnju električne energije koje se sastoji od sljedećih tehnoloških cjelina: glavnog dijela za proizvodnju električne energije (kotao ložen ugljenom prašinom s parnom turbinom, kondenzatorom i električnim generatorom), sustava odvođenja i pročišćavanja otpadnih dimnih plinova (SCR DeNO_x uređaj, elektrostatski filtar i postrojenje za mokro odsumporavanje), sustava za dobavu, skladištenje i pripremu ugljena, sustava otpreme šljake i pepela, sustava pripreme tehnološke vode s vodozahvatom Bubić jama, postrojenja za obradu otpadnih voda, protočnog rashladnog sustava s morskom vodom i pomoćnog parnog kotla (oznake PK 2) koji kao gorivo koristi plinsko ulje.

Ugljen se u Plominski zaljev doprema brodom, iskrcava pomoću zatvorenog pužnog transportera te otprema transportnim trakama na skladište (deponiju) ugljena ili u bunkere kotla. Iz bunkera se ugljen kontinuirano odvodi na mlinove gdje se melje i suši. Dobivena ugljena prašina se u ložište kotla uvodi zračnim transportnim sustavom.

Parni kotao TE Plomin 2 (protočni kotao s prisilnom cirkulacijom tipa Sulzer) ima 24 plamenika (izvedba plamenika s niskom emisijom dušikovih oksida - engl. *Low NO_x*) za izgaranje ugljene prašine raspoređenih u šest ravnina. Para proizvedena u kotlu provodi se do visokotlačnog dijela parne turbine gdje se nakon ekspanzije ponovno zagrijava u kotlu u međupregrijačima te potom vraća u srednjetačni dio turbine, a zatim u niskotlačni dio parne turbine. Energija pregrijane i međupregrijane pare pretvara se u parnoj turbini u mehaničku energiju koja služi za pogon generatora i proizvodnju električne energije. Para iz niskotlačnog djela parne turbine kondenzira u kondenzatoru koji je hlađen rashladnom morskom vodom u protočnom rashladnom sustavu.

Izgaranjem ugljena kao nusprodukti nastaju šljaka i pepeo. Šljaka iz vodom hlađenog odšljakivača se transportnim trakama otprema do ukrcaja u kamione. Unutarnji transport pepela obavlja se zračnim koritima i ejektorima, a vanjski kamionima cisternama ili zatvorenim trakama te mokrim deponiranjem. Šljaka i pepeo predaju se na oporabu ili se zbrinjavaju na odlagalištu šljake i pepela. Pročišćavanje dimnih plinova provodi se u sustavu za smanjenje emisija dušikovih oksida (DeNO_x uređaj; *high-dust* izvedba) metodom selektivne katalitičke redukcije (engl. *Selective Catalytic Reduction* - SCR), zatim u elektrostatskom filtru gdje se plinovi oslobađaju od nesagorivih sastojaka i pepela, a prije ispuštanja u atmosferu iz dimnih plinova se uklanja veći dio sumporovih oksida u postrojenju za mokro odsumporavanje (njem. *Rauchgasentschwefelungsanlagen* - REA) vodenom suspenzijom vapnenca. Pročišćeni dimni plinovi ispuštaju se kroz unutarnju šamotnu

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*.



cijev dimnjaka (visine 340 m) koji je zajednički ispust dimnih plinova elektrane TE Plomin 1 i TE Plomin 2.

Osnovni podatci i tehničke značajke izvora onečišćenja dobiveni su od osoblja postrojenja TE Plomin, odnosno navedeni su prema *Stručnoj podlozi zahtjeva za izmjenu i dopunu uvjeta okolišne dozvole za postojeće postrojenje TE Plomin 2 (rujan 2019.)*.

3. OPSEG MJERENJA

Svrha mjerenja emisija onečišćujućih tvari u zrak je umjeravanje uređaja sustava za kontinuirano mjerenje emisija koji u dimovodnim kanalima prije i nakon postrojenja za odsumporavanje dimnih plinova (AMS prije REA i AMS nakon REA) mjere: masenu koncentraciju krutih čestica, NO_x , O_2 , SO_2 , CO i temperaturu plinova. Kontinuirano mjerenje protoka (brzine) dimnih plinova vrši se samo u mjernom presjeku prije postrojenja za odsumporavanje dimnih plinova (AMS prije REA).

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

Pregled provedenih mjerenja *Laboratorija za mjerenje emisija* u mjernom presjeku prije postrojenja za odsumporavanje dimnih plinova (nadalje: **mjerni presjek prije REA**) dan je u tab. 1. Kod stanja u ispustu mjerena je: temperatura plinova (ϑ , °C), tlak plinova (p , hPa), brzina plinova (v , m/s), volumni sadržaj vodene pare (H_2O , %) i masena koncentracija krutih čestica (PM , mg/m³), a u suhim plinovima je mjereno: 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).

Tab. 1: Mjerenja u mjernom presjeku prije REA

Oznaka mjerenja	Datum i bruto periodi mjerenja			Radna snaga generatora	Relativno opterećenje bloka	Stanje okoline		
	datum	od	do			p	ϑ	Relativna vlažnost
				MW	%	hPa	°C	%
M1	2. 10. 2025.	9:35	10:35	214,4	98,8	1 015	12	59
M2		10:46	11:46	214,1	98,7	1 015	11	61
M3		11:50	12:50	215,8	99,5	1 015	11	60
M4		12:59	13:59	215,3	99,2	1 015	13	56
M5		14:04	15:04	214,3	98,7	1 014	13	55
M6	3. 10. 2025.	12:15	13:15	215,1	99,1	1 013	14	39
M7		13:20	14:20	215,2	99,2	1 012	15	40
M8		14:25	15:25	214,6	98,9	1 012	15	39
M9		15:30	16:30	214,3	98,7	1 011	14	39
M10		16:35	17:35	214,3	98,8	1 011	13	43
M11		17:39	18:39	213,5	98,4	1 011	11	48
M12	4. 10. 2025.	9:05	10:05	217,5	100,2	1 010	13	53
M13		10:10	11:10	217,6	100,3	1 009	15	58
M14		11:14	12:14	215,4	99,3	1 009	16	59
M15		12:19	13:19	214,9	99,0	1 009	17	61



Pregled provedenih mjerenja *Laboratorija za mjerenje emisija* u mjernom presjeku nakon postrojenja za odsumporavanje dimnih plinova (nadalje: **mjerni presjek nakon REA**) dan je u tab. 2. Kod stanja u ispustu mjerena je: temperatura plinova (ϑ , °C), tlak plinova (p , hPa), brzina plinova (v , m/s), volumni sadržaj vodene pare (H_2O , %) i masena koncentracija krutih čestica (PM , mg/m³), a u suhim plinovima je mjereno: 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).

Tab. 2: Mjerenja u mjernom presjeku nakon REA

Oznaka mjerenja	Datum i bruto periodi mjerenja			Radna snaga generatora	Relativno opterećenje bloka	Stanje okoline		
	datum	od	do			p	ϑ	Relativna vlažnost
						hPa	°C	%
M1	5. 10. 2025.	15:37	16:43	200,6	92,4	1 005	11	72
M2		16:47	17:53	201,6	92,9	1 005	11	72
M3		17:57	19:02	199,1	91,8	1 006	9	82
M4	6. 10. 2025.	8:58	10:04	215,0	99,1	1 011	12	76
M5		10:08	11:14	214,5	98,9	1 012	15	69
M6		11:18	12:23	213,2	98,2	1 012	17	67
M7		12:28	13:33	212,0	97,7	1 012	19	60
M8		13:38	14:43	210,8	97,1	1 012	19	56
M9		14:48	15:53	207,3	95,5	1 012	18	55
M10	7. 10. 2025.	8:48	9:54	203,7	93,8	1 014	15	71
M11		9:58	11:03	201,5	92,8	1 014	18	58
M12		11:08	12:13	200,1	92,2	1 014	21	47
M13		12:18	13:23	198,5	91,5	1 014	21	47
M14		13:28	14:33	198,6	91,5	1 013	20	50
M15		14:38	15:43	200,9	92,6	1 013	20	56

4. PRIMIJENJENE METODE I MJERNI UREĐAJI

Metode i oprema korištena tijekom mjerenja emisija onečišćujućih tvari u zrak dani su u tab. 3. Mjerna mjesta, mjerni presjeci i mjerni priključci u kojima su provedena mjerenja zadovoljavaju zahtjeve norme HRN EN 15259. 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. 3: Metode i glavna oprema korištena pri mjerenju

Mjerena veličina	Metoda uzorkovanja	Metoda mjerenja	Glavna korištena oprema
O_2^*	HRN EN 15259:2008	HRN EN 14789:2017	Grijana glava sa sondom za uzorkovanje i grijano crijevo (lab. oznake E.U. 1.2 i E.U. 25.2), hladnjak M&C PSS-5 (lab. oznake E.U. 25.3 i E.U. 29.3), analizator HORIBA PG-350EU (lab. oznaka E.U. 31.1).
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^*	HRN EN 14790:2017	HRN EN 14790:2017	Sustav za uzorkovanje Paul Gothe (pumpa, grijano crijevo, hladnjak) (lab. oznake od E.U. 20.1 do E.U. 20.5), plinomjer (lab. oznaka E.U. 20.12), NTC temperaturni osjetnici (lab. oznaka E.U. 20.7 i E.U. 20.8), komplet ispiralica za uzorkovanje vlage (lab. oznaka E.U. 20.9), ALMEMO 2590-4S (lab. oznaka E.U. 21.2), precizna vaga (lab. oznaka E.U. 18.1).
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), termoelement tipa K u sklopu sonde za uzorkovanje otpadnih plinova (lab. oznaka E.U. 1.3.4) spojen na ALMEMO 2590-4S (lab. oznaka E.U. 21.2).
temperatura okoline		interna metoda eLAB-PE-106	ALMEMO 2590-4S (lab. oznaka E.U. 21.2) i NTC temperaturni osjetnik (lab. oznaka E.U. 21.7).
tlak u ispustu			Osjetnici tlaka u sklopu SICK GRAVIMAT-a SHC 501 (lab. oznaka E.U. 26.1).
tlak okoline			Barometar u sklopu SICK GRAVIMAT-a SHC 501 (lab. oznaka E.U. 26.1).

* Akreditirane metode Laboratorija za mjerenje emisija

4.1. MJERENJE SASTAVA PLINOVA

Analizator PG-350EU (lab. oznaka E.U. 31.1) 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-350EU referentnim plinovima vršena je dva puta dnevno, prije i nakon serije mjerenja.

Prema rezultatima prethodnih mjerenja sastav plinova u mjernom presjeku prije i nakon REA je bio homogen² te su sva mjerenja volumnog sastava suhih dimnih plinova vršena u jednoj (reprezentativnoj) točki.

Umjesto mjerenja koncentracije SO_2 referentnom metodom (metoda određivanja HRN EN 14791:2017; takozvana „mokra“ metoda), volumni udio SO_2 u dimnim plinovima mjernog presjeka prije i nakon REA mjeren je višekomponentnim analizatorom dimnih plinova metodom nedisperzivne infracrvene apsorpcije (metoda određivanja HRN ISO 7935:1997). Razlog tome je prisutnost slobodnog amonijaka (NH_3) u dimnim plinovima nastalog kao nusproizvod katalitičkog

² Izvještaj Ispitnog laboratorija, studeni 2019. godine (L/I-02-2190_3).

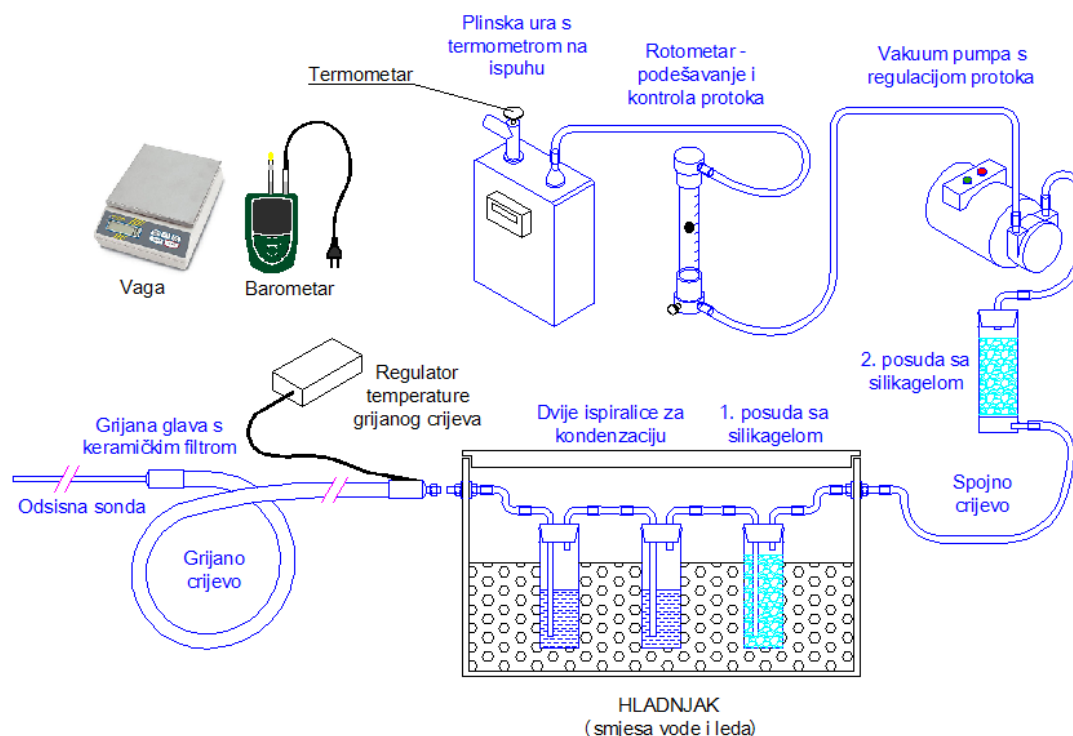
postupka smanjenja emisije dušikovih oksida ubrizgavanjem amonijačne vode. Amonijak je lako topiv u vodi te bi kod primjene referentne metode u ispiralicama s vodenom otopinom vodikovog peroksida reagirao s otopljenim sumpornim dioksidom tvoreći amonijev sulfat $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ i/ili amonijev bisulfat NH_4HSO_4 koji u otopini disociraju na sulfatne SO_4^{2-} i/ili bisulfatne HSO_4^{1-} ione, a ne na očekivane sulfatne SO_4^{2-} ione.

4.2. MJERENJE VOLUMNOG UDJELA VODENE PARE

Mjerenja volumnog udjela vodene pare u dimnim plinovima (H_2O) provedena su prema normi HRN EN 14790:2017 (prema akreditiranoj internoj metodi *eLAB-PE-107 - Mjerenje vlage u otpadnom plinu*) opremom proizvođača Paul Gothe shematski prikazanoj na sl. 1.

Volumni udio vodene pare u dimnim plinovima (H_2O) izračunat je temeljem izmjenjenog (vaganjem) prirasta mase kondenzata u tri hladne ispiralice i plinskom urom izmjenjenog protoka suhih dimnih plinova. Temperature dimnih plinova na izlasku iz hladnjaka i plinske ure mjerene su univerzalnim mjernim uređajem AHLBORN ALMEMO 2590-4S (lab. oznaka E.U. 21.2) opremljenim NTC osjetnicima (otporni temperaturni osjetnici s negativnim temperaturnim koeficijentom; lab. oznaka E.U. 20.7 i lab. oznaka E.U. 20.8). Barometarski tlak (p_0) je mjereno uređajem SICK GRAVIMAT SHC 501 (lab. oznaka E.U. 26.1).

Mjerenja volumnog udjela vodene pare u mjernom presjeku prije i nakon REA provedena su u reprezentativnoj točki jer je prema rezultatima prethodnih mjerenja sastav plinova bio homogen².



Sl. 1: Shematski prikaz sustava za uzorkovanje H_2O

4.3. MJERENJE MASENE KONCENTRACIJE KRUTIH ČESTICA

Mjerenja masenih koncentracija krutih čestica u 20 točaka poprečnog mjernog presjeka prije i nakon REA 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 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. slijepe 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 prije i nakon REA 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 prije i nakon REA 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). Dodatno su provedena mjerenja temperature plinova u jednoj (referentnoj) točki poprečnog mjernog presjeka prije i nakon REA otpornim termoelementom tipa K ugrađenim u sondu za uzorkovanje otpadnih plinova (lab. oznaka E.U. 1.3.5) uz pomoć univerzalnog mjernog instrumenta AHLBORN ALMEMO 2590-4S (lab. oznaka E.U. 21.2).

4.6. TLAK PLINOVA U ISPUSTU

Tlak plinova (p , hPa) u mjernom presjeku prije i nakon REA 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 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 u oba mjerna presjeka određena je na temelju izmjerenih veličina (p_{10} , p_0 , ϑ) SICK GRAVIMAT-om SHC 501, analizatorom PG-350EU izmjerenog volumnog sastava suhih dimnih plinova (O_2 , CO_2 , ostatak N_2) i izmjerenog volumnog udjela vodene pare u dimnim plinovima (H_2O).

4.7. BAROMETARSKI TLAK I TEMPERATURA OKOLINE

Barometarski tlak (p_0) je mjeran 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. 21.2).



5. REŽIMI RADA ZA VRIJEME MJERENJA

Emisijska mjerenja u oba mjerna presjeka (prije i nakon REA) provedeni su kod uobičajenih pogonskih parametara pri gotovo stacionarnom režimu rada.

Prema dogovoru s rukovodećim osobljem TE Plomin 2, čišćenje ogrjevnih površina kotla (parnim ispuhivačima) i regenerativnog zagrijača dimnih plinova (njem. *Regenerativer Gasvorwärmer* - REGAVO) je obavljano prije početka provedbe mjerenja (tijekom noći ili rano ujutro) kako ti postupci ne bi utjecali na rezultate emisijskih mjerenja.

Gorivo kojim je kotao bio ložen tijekom provedbe paralelnih emisijskih mjerenja u oba mjerna presjeka je kameni ugljen (engl. *steam coal*). Rezultati analize sastava uzorka dopremljenog ugljena (kompozitni uzorak pripremljen prema ASTM D 2013) dani su u tab. 4.

Tab. 4: Rezultati analize sastava i svojstava kompozitnog uzorka dopremljenog ugljena

Veličina	Mjerna jedinica	Vrijednost		Metoda ispitivanja
		Dostavno stanje	Suho stanje	
Ukupna vlaga	% _{mas}	13,26	-	ASTM D 3302
Ukupan ugljik	% _{mas}	62,11	71,60	ASTM D 5373
Vodik	% _{mas}	4,38	5,05	ASTM D 5373
Dušik	% _{mas}	1,32	1,52	ASTM D 5373
Kisik	% _{mas}	9,30	10,72	ASTM D 3176
Pepeo	% _{mas}	9,07	10,46	ASTM D 3174
Sumpor	% _{mas}	0,56	0,65	ASTM D 4239-A
Hlapljive tvari ³	% _{mas}	32,90	37,93	ASTM D 3175
Gornja ogrjevna vrijednost	MJ/kg	25,55	29,45	ASTM D 5865
Donja ogrjevna vrijednost	MJ/kg	24,28	-	
Emisijski faktor ugljikovog dioksida	t/TJ	93,7 ± 2,0		Sukladno direktivi 2003/87/EC

5.1. MJERNI PRESJEK PRIJE REA

Mjerenja u mjernom presjeku prije REA (M1-M15) provedena su 2., 3. i 4. listopada 2025. godine (vidi tab. 1). Glavni parametri koji opisuju režime rada parnog kotla i bloka TE Plomin 2 tijekom provedenih paralelnih emisijskih mjerenja dani su u tab. 5, a glavni parametri rada uređaja za pročišćavanje dimnih plinova tijekom mjerenja dani su u tab. 6.

³ Engl. *Volatile matter*.



Tab. 5: Režimi rada parnog kotla i bloka TE Plomin 2 tijekom provedenih mjerenja u presjeku prije REA (2., 3. i 4. listopada 2025.)

Oznaka mjerenja	Parni kotao			Blok		
	Protok svježe pare	Tlak svježe pare	Temperatura svježe pare	Toplinska snaga goriva	Radna snaga generatora	Relativno opterećenje
	kg/s	bar(g)	°C	MW	MW	%
M1	164,3	147,0	537,3	491,5	214,4	98,8
M2	165,7	147,0	537,2	495,5	214,1	98,7
M3	165,7	147,0	539,3	496,9	215,8	99,5
M4	165,0	147,0	539,1	494,9	215,3	99,2
M5	164,0	147,0	537,7	491,3	214,3	98,7
M6	165,9	147,0	536,6	496,5	215,1	99,1
M7	166,1	147,0	537,6	498,0	215,2	99,2
M8	164,6	147,0	537,0	493,6	214,6	98,9
M9	164,9	147,0	537,7	495,5	214,3	98,7
M10	163,5	147,0	537,5	491,5	214,3	98,8
M11	163,2	147,0	537,9	491,0	213,5	98,4
M12	167,3	147,0	539,7	501,4	217,5	100,2
M13	166,0	147,0	538,3	497,4	217,6	100,3
M14	165,3	147,0	538,6	495,7	215,4	99,3
M15	164,8	147,0	539,4	495,1	214,9	99,0

Tab. 6: Režimi rada uređaja za pročišćavanje dimnih plinova TE Plomin 2 tijekom provedenih mjerenja u presjeku prije REA (2., 3. i 4. listopada 2025.)

Oznaka mjerenja	SCR DeNOx uređaj		Elektrostatski filter	Postrojenje za odsuportavanje dimnih plinova (REA)		
	Protok reagensa	NO _x prije uređaja	Broj polja filtra u radu ⁴	Protok suspenzije vapna	pH vrijednost u apsorberu	Optočne pumpe u radu
	m ³ /h	mg/m ³ _{ref}	-	m ³ /h	-	-
M1	0,13	221,4	8	4,05	5,8	1., 2. i 3.
M2	0,13	221,6	8	4,04	5,8	1., 2. i 3.
M3	0,12	218,2	8	4,07	5,8	1., 2. i 3.
M4	0,14	223,3	8	4,11	5,8	1., 2. i 3.
M5	0,13	227,8	8	5,22	5,8	1., 2. i 3.
M6	0,15	225,6	8	3,67	6,0	1., 2. i 3.
M7	0,15	231,0	8	3,97	6,0	1., 2. i 3.
M8	0,15	237,5	8	3,97	6,0	1., 2. i 3.
M9	0,16	243,1	8	3,96	6,0	1., 2. i 3.
M10	0,17	251,8	8	3,97	6,0	1., 2. i 3.
M11	0,23	267,3	8	3,97	6,0	1., 2. i 3.
M12	0,11	204,5	8	2,51	5,9	1., 2. i 3.
M13	0,12	211,9	8	0,01	5,9	1., 2. i 3.
M14	0,13	223,9	8	0,01	5,9	1., 2. i 3.
M15	0,14	228,2	8	0,01	5,7	1., 2. i 3.

5.2. MJERNI PRESJEK NAKON REA

Mjerenja u mjernom presjeku nakon REA (M1-M15) provedena su 5., 6. i 7. listopada 2025. godine (vidi tab. 2). Glavni parametri koji opisuju režime rada parnog kotla i bloka TE Plomin 2 tijekom

⁴ Tijekom mjerenja polje 5 je stohastički ispadalo iz rada.



provedenih paralelnih emisijskih mjerenja dani su u tab. 7, a glavni parametri rada uređaja za pročišćavanje dimnih plinova tijekom mjerenja dani su u tab. 8.

Tab. 7: Režimi rada parnog kotla i bloka TE Plomin 2 tijekom provedenih mjerenja u presjeku nakon REA (5., 6. i 7. listopada 2025.)

Oznaka mjerenja	Parni kotao			Blok		
	Protok svježe pare	Tlak svježe pare	Temperatura svježe pare	Toplinska snaga goriva	Radna snaga generatora	Relativno opterećenje
	kg/s	bar(g)	°C	MW	MW	%
M1	154,9	146,7	539,8	470,8	200,6	92,4
M2	154,7	146,7	539,8	470,2	201,6	92,9
M3	152,6	146,5	539,9	464,5	199,1	91,8
M4	164,5	147,0	540,0	495,2	215,0	99,1
M5	163,2	147,0	540,2	492,1	214,5	98,9
M6	161,7	147,0	540,8	488,7	213,2	98,2
M7	160,8	147,0	540,6	486,6	212,0	97,7
M8	158,6	147,0	540,1	480,7	210,8	97,1
M9	155,8	146,9	538,6	473,3	207,3	95,5
M10	154,1	146,7	540,2	466,9	203,7	93,8
M11	152,2	146,7	540,9	461,8	201,5	92,8
M12	150,2	146,7	540,7	456,4	200,1	92,2
M13	149,0	146,7	539,4	453,9	198,5	91,5
M14	149,5	146,7	539,6	456,3	198,6	91,5
M15	152,0	146,7	539,6	462,7	200,9	92,6

Tab. 8: Režimi rada uređaja za pročišćavanje dimnih plinova TE Plomin 2 tijekom provedenih mjerenja u presjeku nakon REA (5., 6. i 7. listopada 2025.)

Oznaka mjerenja	SCR DeNOx uređaj		Elektrostatski filtar	Postrojenje za odsumporavanje dimnih plinova (REA)		
	Protok reagensa	NO _x prije uređaja	Broj polja filtra u radu ⁵	Protok suspenzije vapna	pH vrijednost u apsorberu	Optočne pumpe u radu
	m ³ /h	mg/m ³ _{ref}	-	m ³ /h	-	-
M1	0,31	340,8	8	3,52	5,9	1., 2. i 3.
M2	0,26	320,0	8	3,52	5,9	1., 2. i 3.
M3	0,23	279,2	8	3,27	5,9	1., 2. i 3.
M4	0,15	235,7	8	2,62	5,5	1., 2. i 3.
M5	0,15	241,2	8	2,49	5,4	1., 2. i 3.
M6	0,15	253,2	8	2,63	5,3	1., 2. i 3.
M7	0,19	263,9	8	2,78	5,1	1., 2. i 3.
M8	0,21	278,9	8	4,06	5,3	1., 2. i 3.
M9	0,23	290,7	8	4,04	5,5	1., 2. i 3.
M10	0,17	262,3	8	2,48	5,8	1., 2. i 3.
M11	0,19	268,5	8	2,18	5,8	1., 2. i 3.
M12	0,18	273,6	8	2,18	5,8	1., 2. i 3.
M13	0,21	293,0	8	2,57	5,8	1., 2. i 3.
M14	0,21	291,7	8	2,55	5,7	1., 2. i 3.
M15	0,17	264,0	8	2,37	5,7	1., 2. i 3.

⁵ Tijekom mjerenja polje 5 je stohastički ispadalo iz rada.



6. REZULTATI MJERENJA

6.1. MJERNI PRESJEK PRIJE REA

2., 3. i 4. listopada 2025. godine u mjernom presjeku prije REA izvršeno je petnaest mjerenja (M1-M15): temperature (ϑ), tlaka (p), brzine dimnih plinova (v), volumnog udjela vodene pare (H_2O), masene koncentracije krutih čestica (PM) te volumnih udjela SO_2 , CO_2 , CO , NO_x i O_2 u suhim dimnim plinovima.

Rezultati mjerenja veličina u ispustu dani su u tab. 9, a rezultati mjerenja sastava suhih dimnih plinova dani su u tab. 10. Uz vrijednosti svih izmjerenih veličina iskazana je proširena mjerna nesigurnost (uz razinu pouzdanosti od 95 %).

U tab. 11 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 6 % kisika u suhim dimnim plinovima. Svođenje na referentne ili tzv. GVE uvjete vrši se na sljedeći način:

$$C_{\text{ref}} = C_{\text{n,sdp}} \cdot \frac{21 \% - 6 \%}{21 \% - O_2}, \quad (2)$$

$$Q = v \cdot A_{\text{VR}}, \quad (3)$$

$$Q_{\text{ref}} = Q \cdot \frac{273,15}{\vartheta + 273,15} \cdot \frac{p}{1013,25} \cdot \frac{100 \% - H_2O}{100 \%} \cdot \frac{21 \% - O_2}{21 \% - 6 \%}, \quad (4)$$

$$PM_{\text{ref}} = PM \cdot \frac{\vartheta + 273,15}{273,15} \cdot \frac{1013,25}{p} \cdot \frac{100 \%}{100 \% - H_2O} \cdot \frac{21 \% - 6 \%}{21 \% - O_2}, \quad (5)$$

gdje je:

$C_{\text{n,sdp}}$; mg/m ³ ;	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/m ³ ;	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 6 %,
Q ; m ³ /s;	izmjereni volumni protok vlažnih dimnih plinova (H_2O) kod temperature (ϑ), tlaka (p) i volumnog udjela kisika (O_2) u ispustu,
Q_{ref} ; m ³ /s;	volumni protok suhih dimnih plinova ($H_2O = 0 \%$) kod normiranog stanja (0 °C i 1013,25 hPa) i volumnog udjela kisika u suhim dimnim plinovima od 6 %,
PM ; mg/m ³ ;	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/m ³ ;	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 6 %,
v ; m/s;	izmjerena brzina dimnih plinova u ispustu,
A_{VR} ; 16 m ² ;	površina poprečnog mjernog presjeka prije REA.



Tab. 9: Rezultati mjerenja u mjernom presjeku prije REA

Mjerenje	ϑ^*	p	v^*	PM^*	H_2O^*
	°C	hPa	m/s	mg/m ³	%
M1	138 ±1	1 040 ±6	19,8 ±0,2	12,6 ±0,2	7,05 ±0,54
M2	138 ±1	1 040 ±6	19,6 ±0,2	11,9 ±0,2	8,09 ±0,58
M3	138 ±1	1 041 ±6	19,3 ±0,1	13,8 ±0,2	7,07 ±0,54
M4	138 ±1	1 039 ±6	19,7 ±0,2	13,5 ±0,2	7,75 ±0,58
M5	139 ±1	1 039 ±6	19,9 ±0,2	14,1 ±0,2	7,13 ±0,55
M6	139 ±1	1 038 ±6	19,8 ±0,2	14,2 ±0,2	7,84 ±0,57
M7	139 ±1	1 038 ±6	19,6 ±0,1	13,5 ±0,1	8,24 ±0,59
M8	139 ±1	1 037 ±6	19,8 ±0,2	11,1 ±0,1	7,22 ±0,55
M9	139 ±1	1 036 ±6	20,0 ±0,2	14,8 ±0,1	7,29 ±0,55
M10	140 ±1	1 037 ±6	20,0 ±0,2	14,6 ±0,1	7,22 ±0,55
M11	139 ±1	1 036 ±6	19,9 ±0,2	18,7 ±0,2	7,39 ±0,56
M12	138 ±1	1 034 ±6	19,6 ±0,2	13,6 ±0,1	8,21 ±0,57
M13	139 ±1	1 034 ±6	19,9 ±0,2	12,9 ±0,1	8,51 ±0,61
M14	139 ±1	1 034 ±6	19,8 ±0,2	13,7 ±0,1	7,88 ±0,58
M15	139 ±1	1 033 ±6	19,8 ±0,2	13,8 ±0,1	7,89 ±0,58

* Akreditirane metode Laboratorija za mjerenje emisija

Tab. 10: Rezultati mjerenja sastava suhih 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	6,02 ±0,64	13,39 ±0,53	15,8 ±1,4	125 ±5	1 102 ±37
M2	5,94 ±0,64	13,47 ±0,53	16,5 ±1,4	119 ±5	1 136 ±38
M3	5,86 ±0,64	13,58 ±0,53	17,8 ±1,4	126 ±5	1 179 ±38
M4	5,94 ±0,64	13,60 ±0,53	17,4 ±1,4	118 ±5	1 192 ±38
M5	6,03 ±0,64	13,49 ±0,53	17,1 ±1,4	124 ±5	1 182 ±38
M6	5,90 ±0,64	13,53 ±0,53	16,7 ±1,4	109 ±5	1 166 ±38
M7	5,90 ±0,64	13,53 ±0,53	16,8 ±1,4	111 ±5	1 171 ±38
M8	5,99 ±0,64	13,47 ±0,53	16,5 ±1,4	118 ±5	1 175 ±38
M9	6,04 ±0,64	13,43 ±0,53	16,4 ±1,4	121 ±5	1 182 ±38
M10	6,09 ±0,64	13,35 ±0,53	16,5 ±1,4	132 ±5	1 184 ±38
M11	6,14 ±0,64	13,25 ±0,53	16,3 ±1,4	104 ±5	1 181 ±38
M12	5,52 ±0,64	13,94 ±0,53	19,9 ±1,4	109 ±5	1 191 ±39
M13	5,72 ±0,64	13,96 ±0,53	19,2 ±1,4	117 ±5	1 179 ±38
M14	5,81 ±0,64	14,03 ±0,53	18,6 ±1,4	118 ±5	1 172 ±38
M15	5,84 ±0,64	14,04 ±0,53	18,8 ±1,4	121 ±5	1 164 ±38

* Akreditirane metode Laboratorija za mjerenje emisija



Tab. 11: Rezultati mjerenja svedeni na referentne uvjete

Mjerenje	Q_{ref}	PM_{ref}	CO_{ref}	$NO_{x ref}$	$SO_{2 ref}$
	m ³ /s	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³
M1	201 ±10	19,9 ±0,9	15,8 ±1,5	125 ±7	1 103 ±60
M2	198 ±10	18,9 ±0,8	16,5 ±1,5	119 ±7	1 131 ±61
M3	198 ±10	21,6 ±1,0	17,6 ±1,6	125 ±7	1 167 ±62
M4	199 ±10	21,3 ±0,9	17,3 ±1,6	118 ±7	1 187 ±63
M5	200 ±10	22,4 ±1,0	17,2 ±1,6	124 ±7	1 185 ±63
M6	200 ±10	22,5 ±1,0	16,6 ±1,5	108 ±6	1 158 ±62
M7	197 ±10	21,5 ±0,9	16,7 ±1,5	110 ±7	1 164 ±62
M8	199 ±10	17,6 ±0,8	16,5 ±1,5	118 ±7	1 175 ±63
M9	201 ±10	23,7 ±1,0	16,4 ±1,5	121 ±7	1 185 ±63
M10	200 ±10	23,5 ±1,0	16,6 ±1,6	133 ±7	1 192 ±64
M11	198 ±10	30,0 ±1,3	16,4 ±1,6	105 ±6	1 192 ±64
M12	202 ±10	21,2 ±0,9	19,3 ±1,6	106 ±6	1 154 ±60
M13	201 ±10	20,4 ±0,9	18,8 ±1,6	115 ±7	1 157 ±61
M14	200 ±10	21,8 ±0,9	18,3 ±1,6	116 ±7	1 158 ±61
M15	199 ±10	21,9 ±0,9	18,6 ±1,6	120 ±7	1 152 ±61

Slijepa proba za mjerenja masene koncentracije krutih čestica M1-M5 u mjernom presjeku prije REA provedena 2. listopada 2025. iznosi 0,17 mg/m³ (0,27 mg/m³ pri referentnom stanju). Slijepa proba provedena 3. listopada 2025. za mjerenja M6-M11 iznosi 0,04 mg/m³ (0,06 mg/m³ pri referentnom stanju), a slijepa proba provedena 4. listopada 2025. za mjerenja M12-M15 iznosi 0,08 mg/m³ (0,12 mg/m³ pri referentnom stanju). Vrijednosti slijepih proba zadovoljavaju uvjete propisane poglavljem 9.7 norme HRN EN 13284-1:2017.



6.2. MJERNI PRESJEK NAKON REA

5., 6. i 7. listopada 2025. godine u mjernom presjeku nakon REA izvršeno je petnaest mjerenja (M1-M15): temperature (ϑ), tlaka (p), brzine dimnih plinova (v), volumnog udjela vodene pare (H_2O), masene koncentracije krutih čestica (PM) te volumnih udjela SO_2 , CO_2 , CO , NO_x i O_2 u suhim dimnim plinovima.

Rezultati mjerenja veličina u ispustu dani su u tab. 12, a rezultati mjerenja sastava suhih dimnih plinova dani su u tab. 13. Uz vrijednosti svih izmjerenih veličina iskazana je proširena mjerna nesigurnost (uz razinu pouzdanosti od 95 %).

U tab. 14 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 6 % kisika u suhim dimnim plinovima. Svođenje na referentne ili tzv. GVE uvjete vrši se na sljedeći način:

$$C_{\text{ref}} = C_{\text{n,sdp}} \cdot \frac{21 \% - 6 \%}{21 \% - O_2}, \quad (6)$$

$$Q = v \cdot A_{\text{NR}}, \quad (7)$$

$$Q_{\text{ref}} = Q \cdot \frac{273,15}{\vartheta + 273,15} \cdot \frac{p}{1013,25} \cdot \frac{100 \% - H_2O}{100 \%} \cdot \frac{21 \% - O_2}{21 \% - 6 \%}, \quad (8)$$

$$PM_{\text{ref}} = PM \cdot \frac{\vartheta + 273,15}{273,15} \cdot \frac{1013,25}{p} \cdot \frac{100 \%}{100 \% - H_2O} \cdot \frac{21 \% - 6 \%}{21 \% - O_2}, \quad (9)$$

gdje je:

$C_{\text{n,sdp}}$; mg/m ³ ;	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/m ³ ;	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 6 %,
Q ; m ³ /s;	izmjereni volumni protok vlažnih dimnih plinova (H_2O) kod temperature (ϑ), tlaka (p) i volumnog udjela kisika (O_2) u ispustu,
Q_{ref} ; m ³ /s;	volumni protok suhih dimni plinova ($H_2O = 0$ %) kod normiranog stanja (0 °C i 1013,25 hPa) i volumnog udjela kisika u suhim dimnim plinovima od 6 %,
PM ; mg/m ³ ;	izmjerena masena koncentracija krutih čestica u vlažnim dimnim plinovima (H_2O) kod temperature (t), tlaka (ϑ) i volumnog udjela kisika (O_2) u ispustu,
PM_{ref} ; mg/m ³ ;	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 6 %,
v ; m/s;	izmjerena brzina dimnih plinova u ispustu,
A_{NR} ; 14 m ² ;	površina poprečnog mjernog presjeka nakon REA.



Tab. 12: Rezultati mjerenja u mjernom presjeku nakon REA

Mjerenje	ϑ^*	p	v^*	PM^*	H_2O^*
	°C	hPa	m/s	mg/m ³	%
M1	96 ±1	1 011 ±6	22,8 ±0,2	4,7 ±0,1	11,09 ±0,67
M2	97 ±1	1 011 ±6	22,6 ±0,2	4,7 ±0,1	11,87 ±0,71
M3	97 ±1	1 012 ±6	22,0 ±0,2	3,8 ±0,1	10,85 ±0,67
M4	98 ±1	1 017 ±6	23,2 ±0,2	3,4 ±0,1	10,68 ±0,66
M5	98 ±1	1 017 ±6	23,2 ±0,2	3,2 ±0,1	12,21 ±0,72
M6	98 ±1	1 017 ±6	23,1 ±0,2	3,5 ±0,1	11,13 ±0,68
M7	98 ±1	1 018 ±6	23,2 ±0,2	4,1 ±0,2	10,86 ±0,67
M8	98 ±1	1 017 ±6	23,2 ±0,2	3,8 ±0,1	10,98 ±0,69
M9	99 ±1	1 017 ±6	23,2 ±0,2	6,1 ±0,1	11,28 ±0,71
M10	96 ±1	1 020 ±6	22,0 ±0,2	2,9 ±0,1	11,40 ±0,69
M11	96 ±1	1 020 ±6	22,0 ±0,2	3,3 ±0,1	11,77 ±0,71
M12	96 ±1	1 020 ±6	22,0 ±0,2	3,4 ±0,1	11,21 ±0,70
M13	96 ±1	1 020 ±6	22,0 ±0,2	3,3 ±0,1	10,98 ±0,69
M14	97 ±1	1 019 ±6	22,1 ±0,1	3,4 ±0,1	11,05 ±0,69
M15	97 ±1	1 018 ±6	21,9 ±0,2	3,8 ±0,1	10,94 ±0,69

* Akreditirane metode Laboratorija za mjerenje emisija

Tab. 13: Rezultati mjerenja sastava suhih dimnih mjernog presjeka nakon REA

Mjerenje	O_2^*	CO_2^*	CO^*	NO_x^* kao NO_2	SO_2^*
	%	%	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³
M1	6,50 ±0,64	13,25 ±0,52	11,3 ±1,3	123 ±4	46 ±3
M2	6,30 ±0,64	13,55 ±0,52	10,9 ±1,3	128 ±5	48 ±3
M3	6,20 ±0,64	13,60 ±0,52	11,8 ±1,3	107 ±4	46 ±3
M4	5,72 ±0,64	13,86 ±0,53	16,8 ±1,3	127 ±5	69 ±3
M5	5,82 ±0,64	13,93 ±0,53	16,7 ±1,3	133 ±5	80 ±3
M6	5,97 ±0,64	13,98 ±0,53	16,1 ±1,3	147 ±5	92 ±4
M7	6,07 ±0,64	13,98 ±0,53	15,3 ±1,3	138 ±5	101 ±4
M8	6,19 ±0,64	13,91 ±0,53	14,6 ±1,3	137 ±5	85 ±3
M9	6,48 ±0,64	13,65 ±0,53	13,9 ±1,3	138 ±5	73 ±3
M10	6,03 ±0,64	13,54 ±0,52	14,3 ±1,3	127 ±4	48 ±3
M11	6,19 ±0,64	13,55 ±0,52	13,2 ±1,3	115 ±4	54 ±3
M12	6,27 ±0,64	13,63 ±0,52	11,6 ±1,3	125 ±4	58 ±3
M13	6,40 ±0,64	13,59 ±0,52	9,9 ±1,3	126 ±4	62 ±3
M14	6,33 ±0,64	13,67 ±0,52	9,4 ±1,3	121 ±4	65 ±3
M15	6,12 ±0,64	13,84 ±0,52	11,0 ±1,3	124 ±4	68 ±3

* Akreditirane metode Laboratorija za mjerenje emisija



Tab. 14: Rezultati mjerenja svedeni na referentne uvjete

Mjerenje	Q_{ref}	PM_{ref}	CO_{ref}	$NO_{x\text{ref}}$	$SO_{2\text{ref}}$
	m ³ /s	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³
M1	202 ±10	7,3 ±0,4	11,7 ±1,4	127 ±7	48 ±4
M2	201 ±10	7,3 ±0,4	11,1 ±1,4	130 ±7	49 ±4
M3	199 ±10	5,8 ±0,3	12,0 ±1,4	109 ±6	46 ±4
M4	218 ±11	5,1 ±0,3	16,4 ±1,4	124 ±7	68 ±4
M5	213 ±11	4,8 ±0,3	16,5 ±1,4	132 ±7	79 ±5
M6	213 ±11	5,4 ±0,3	16,0 ±1,5	147 ±8	91 ±5
M7	213 ±11	6,2 ±0,4	15,4 ±1,4	138 ±8	101 ±6
M8	211 ±11	5,8 ±0,3	14,8 ±1,4	139 ±8	86 ±5
M9	205 ±10	9,7 ±0,5	14,4 ±1,5	142 ±8	75 ±5
M10	203 ±10	4,4 ±0,2	14,4 ±1,4	127 ±7	48 ±4
M11	200 ±10	5,1 ±0,3	13,4 ±1,4	116 ±7	54 ±4
M12	200 ±10	5,2 ±0,3	11,9 ±1,4	127 ±7	60 ±4
M13	198 ±10	5,1 ±0,3	10,2 ±1,4	129 ±7	64 ±4
M14	199 ±10	5,3 ±0,3	9,6 ±1,3	124 ±7	67 ±4
M15	200 ±10	5,7 ±0,3	11,1 ±1,4	125 ±7	68 ±4

Slijepa proba za mjerenja masene koncentracije krutih čestica M1-M3 u mjernom presjeku nakon REA provedena 5. listopada 2025. iznosi 0,01 mg/m³ (0,01 mg/m³ pri referentnom stanju). Slijepa proba provedena 6. listopada 2025. za mjerenja M4-M9 iznosi 0,01 mg/m³ (0,02 mg/m³ pri referentnom stanju), a slijepa proba provedena 7. listopada 2025. za mjerenja M10-M15 iznosi 0,01 mg/m³ (0,02 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 IZ MJERNIH PRESJEKA PRIJE I NAKON POSTROJENJA ZA ODSUMPORAVANJE DIMNIH PLINOVA TE PLOMIN 2

Oznaka plana mjerenja: L1-I-02-2234_20/25-P

Zagreb, 29. 9. 2025.



Naručitelj: **HEP PROIZVODNJA d.o.o.**
Sektor za termoelektrane
Pogon TE Plomin
Plomin luka 50
52234 Plomin Luka

Radni nalog: I-02-2234_20

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

Objekt: TE Plomin 2

Lokacija: Plomin luka 50, 52234 Plomin Luka

Vrsta mjerenja: emisijska

Svrha: Mjerenja emisija onečišćujućih tvari u zrak iz mjernih presjeka prije i nakon postrojenja za odsumporavanje dimnih plinova radi umjeravanja uređaja za kontinuirano mjerenje emisija prema normi HRN EN 14181:2014.



SADRŽAJ

1. SVRHA MJERENJA.....	22
1.1. NARUČITELJ.....	22
1.2. ODGOVORNE OSOBE NARUČITELJA / VLASNIKA.....	22
1.3. LOKACIJA MJERENJA.....	23
1.4. MJERENA POSTROJENJA.....	23
1.5. PLANIRANI TERMIN I UVJETI MJERENJA.....	23
1.6. OSOBE KOJE ĆE SUDJELOVAT NA MJERENJU.....	25
2. POSTROJENJE.....	26
2.1. OPIS POSTROJENJA.....	26
2.2. SASTAV GORIVA.....	27
2.3. UREĐAJI ZA ODVOĐENJE I SMANJIVANJE EMISIJE OTPADNIH PLINOVA.....	27
3. MJERNA MJESTA.....	27
3.1. MJERNO MJESTO PRIJE REA.....	28
3.1.1 Mjerni presjek prije REA.....	31
3.2. MJERNO MJESTO NAKON REA.....	31
3.2.1 Mjerni presjek nakon REA.....	34
4. MJERNE METODE I INSTRUMENTI.....	34
4.1. ODREĐIVANJE STANJA OTPADNIH PLINOVA.....	35
4.1.1 Emisija krutih čestica, brzina, tlak i temperatura dimnih plinova.....	35
4.1.2 Vlažnost plinova.....	36
4.2. MJERENJE EMISIJE PLINOVITIH TVARI.....	36



1. SVRHA MJERENJA

Svrha mjerenja emisija onečišćujućih tvari u zrak iz mjernih presjeka prije i nakon postrojenja za odsumporavanje dimnih plinova TE Plomin 2 (mjerni presjeci prije i nakon REA) je umjeravanje uređaja automatskih mjernih 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 i tab. P 2.

Tab. P 1: Pregled AMS uređaja TE Plomin 2 - mjerni presjek prije postrojenja za odsumporavanje dimnih plinova (AMS prije REA)

Mjerena veličina		AMS uređaj
Vlažni plinovi (stanje u ispustu)	protok (brzina), Q	DURAG D-FL 220 (serijski broj: 1265313) DURAG D-FL 220 (serijski broj: 1291403) ¹⁾
	temperatura, ϑ	termometar Pt100
	krute čestice, PM	DURAG D-R 320 (serijski broj: 1253255)
	vlažnost plinova, H_2O	konstanta (8,4 %) u algoritmu emisijskog računala DURAG D-EMS 2000
Suhi plinovi (normirano stanje)	ugljikov monoksid, CO	ekstraktivni višekomponentni analizatorski sustav Siemens ULTRAMAT 23 (serijski broj: N1H9453)
	dušikov monoksid, NO	
	sumporov dioksid, SO_2	
	kisik, O_2	

¹⁾ sekundarni uređaj za mjerenje protoka (brzine) dimnih plinova

Tab. P 2: Pregled AMS uređaja TE Plomin 2 - mjerni presjek nakon postrojenja za odsumporavanje dimnih plinova (AMS nakon REA)

Mjerena veličina		AMS uređaj
Vlažni plinovi (stanje u ispustu)	temperatura, ϑ	termometar Pt100
	krute čestice, PM	DURAG D-R 320 (serijski broj: 1247031)
	vlažnost plinova, H_2O	konstanta (10 %) u algoritmu emisijskog računala DURAG D-EMS 2000
Suhi plinovi (normirano stanje)	ugljikov monoksid, CO	ekstraktivni višekomponentni analizatorski sustav Siemens ULTRAMAT 23 (serijski broj: N1K9381)
	dušikov monoksid, NO	
	sumporov dioksid, SO_2	
	kisik, O_2	

1.1. NARUČITELJ

HEP PROIZVODNJA d.o.o.
Sektor za termoelektrane
Pogon TE Plomin
Plomin luka 50
52234 Plomin Luka

1.2. ODGOVORNE OSOBE NARUČITELJA / VLASNIKA

kontakt osoba: Ivana Laković, dipl. ing. kem.
ured: Plomin luka 50, 52234 Plomin Luka
telefon: 052/866167 ili 091/5680378
e-pošta: ivana.lakovic@hep.hr



1.3. LOKACIJA MJERENJA

TE Plomin 2, Plomin luka 50, 52234 Plomin Luka.

1.4. MJERENA POSTROJENJA

Emisije iz mjernih presjeka prije i nakon postrojenja za odsumporavanje dimnih plinova (mjerni presjeci prije i nakon REA).

1.5. PLANIRANI TERMIN I UVJETI MJERENJA

Prema dogovoru s *Naručiteljem* paralelna mjerenja iz mjernih presjeka prije i nakon REA provesti će se u periodu od 2. 10. 2025. do 8. 10. 2025. godine.

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 3.

Tab. P 3: Aktivnosti prilikom ispitivanja funkcionalnosti prije QAL2 ili AST

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

Koordinaciju između *Izvođača* i ovlaštenog servisera na sebe preuzima *Naručitelj*, a zapise o provedenim radovima dati će na raspolaganje *Izvođaču* mjerenja. *Naručitelj* će osigurati i *Izvođaču* dati na raspolaganje podatke o stanju i podešenosti svih mjernih krugova uređaja koji su predmet umjeravanja (uređaji navedeni u tab. P 1 i tab. P 2).

Paralelna mjerenja emisija će se provesti pri zatečenim režimima rada pojedinih podsustava (npr. elektrostatskog filtera i postrojenja za odsumporavanje dimnih plinova) i zatečenom opterećenju koje ovisi o potražnji električne energije, ali prije provođenja svakog pojedinačnog mjerenja *Naručitelj* mora osigurati rad izvora onečišćenja s pretežno nepromjenjivim uvjetima rada.

Prilikom planiranja provedbe paralelnih mjerenja potrebno je od rukovodećeg osoblja TE Plomin 2 zatražiti da se čišćenje ogrjevnih površina kotla (parnim ispuhivačima) i regenerativnog zagrijača dimnih plinova (njem. *Regenerativer Gasvorwärmer* - REGAVO) obavi prije ili nakon početka provedbe mjerenja (tijekom noći ili rano ujutro) kako ti postupci ne bi utjecali na stacionarnost rada postrojenja.



Za svako provedeno mjerenje *Naručitelj* će *Izvođaču* predati minutne vrijednosti svih mjerenih veličina u elektroničkoj formi prikladnoj za daljnju obradu u MS Excel-u (npr. *txt* ili *csv*). Podatci koje treba dostaviti iz baze podataka emisijskog računala (DURAG D-EMS 2000) za oba automatska mjerna sustava (veličine **AMS prije REA** u emisijskom računalu imaju oznaku **VR**, a veličine **AMS nakon REA** imaju oznaku **NR**) su sljedeći:

1. minutne prosječne vrijednosti analognog signala:

- a) O_2 , mA,
- b) CO , mA,
- c) NO , mA,
- d) SO_2 , mA,
- e) Q , mA (samo **VR**),
- f) PM , mA,
- g) ϑ , mA.

2. „sirove“ minutne prosječne vrijednosti:

- h) O_2 , %,
- i) CO , mg/m^3 ,
- j) NO , mg/m^3 ,
- k) SO_2 , mg/m^3 ,
- l) Q , m^3/h (samo **VR**),
- m) PM , mg/m^3 ,
- n) H_2O , % (konstante upisane u algoritam emisijskog računala; izbornik *UDF Momt*),
- o) ϑ , $^{\circ}C$.

3. „normirane“ minutne prosječne vrijednosti:

- p) CO , mg/m^3_{ref} ,
- q) NO_x , mg/m^3_{ref} ,
- r) SO_2 , mg/m^3_{ref} ,
- s) Q , m^3_{ref}/h (samo **VR**),
- t) PM , mg/m^3_{ref} .

Također, za svako provedeno mjerenje *Naručitelj* će *Izvođaču* predati prosječne minutne vrijednosti iz sustava Siemens SPPA-T3000 u elektroničkoj formi prikladnoj za daljnju obradu u Excel-u (npr. *txt* ili *csv*). Podaci koje treba dostaviti dani su u tab. P 4.

Pored veličina navedenih u tab. P 4, ručno je potrebno zapisati sljedeće:

- optočne pumpe vapnene suspenzije REA koje su u radu,
- polja elektrostatskog filtra koja su u radu (od ukupno 8 polja).



Tab. P 4: Popis veličina iz procesnog sustava Siemens SPPA-T3000

Naziv zapisa	KKS oznaka	Opis mjerenja	Mjerna jedinica
EMI_SNAGA	2 HHY00 CE001 ZQ02	Toplinska snaga	MW
	2 HNA31 CQ004 XQ01	SO ₂ u DP iza VDP	mg/m ³
	2 HTA40 CP001 XQ01	Tlak cist pl ispr dimnj	mbar
	2 MKA01 CE006 XQ02	Radna snaga	MW
EMI_KOTAO	2 HNA12 CQ001 XQ01	O ₂ u dimnom plinu iza LJ1	%
	2 HNA22 CQ001 XQ01	O ₂ u dimnom plinu iza LJ2	%
	2 HNA31 CQ001 XQ01	O ₂ u DP iza VDP	%
	2 HNA31 CT901 ZQ01	Temp DP iza VDP	°C
	2 LBA10 CF901 ZQ01	Protok SP na izlazu kotla	kg/s
	2 LBA10 CP901 ZQ01	Tlak SP na izlazu kotla	bar
	2 LBA10 CT001 ZQ01	Temp SP na izlazu kotla	°C
EMI_DENOX	2 HTA40 CQ944 ZQ02	NO _x iza REA korigiran	mg/m ³
	BHSA10CT901 XQ02	Temperatura ulaznog dima 2v3	°C
	BHSA15CQ001 XQ50C	Analizator NO _x ulaz	mg/m ³
	BHSA15CQ004 XQ50C	Analizator NO _x izlaz	mg/m ³
	BHSA25CF001 XQ50	Protok reagensa za injekciju	m ³ /h
EMI_REA	2 HTA20 CT001 XQ01	Temp sir pl iza GAVOa	°C
	2 HTA30 CP001 XQ01	Dif tlak cist pl GAVOa	
	2 HTA30 CT001 XQ01	Temp cist pl ispr GAVOa	°C
	2 HTA40 CQ003 XQ01	O ₂ u cist pl ispr dimnj	%
	2 HTA40 CT001 XQ02	Temp cist pl ispr dimnj	°C
	2 HTD30 CQ901 ZQ01	Mjer pH vr apsorbera 1,2	pH
	2 HTK20 CF001 XQ01	Protok susp vapn ispr aps	m ³ /h
EMI_ProtokDP ¹⁾	2 HNA31 CF002 XQ01 OUT	Output Value	m ³ /h
	2 HNA31 CF002 ZQ02	Protok DP iza VDP	m ³ /h

¹⁾ sekundarni uređaj za mjerenje protoka (brzine) dimnih plinova

Podatke o donjoj ogrjevnoj vrijednosti i sastavu ugljena kojim je kotao ložen za vrijeme mjerenja treba prikupiti od *Naručitelja*.

Radi smještaja dijela mjerne opreme, pripreme i obrade rezultata mjerenja od *Naručitelja* se može zatražiti korištenje dvorane (sale) smještene nasuprot restorana. Eventualno, od *Naručitelja* se može zatražiti i korištenje kemijskog laboratorija (analitička vaga, sušionik i eksikator).

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

1.6. OSOBE KOJE ĆE SUDJELOVAT NA MJERENJU

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



2. POSTROJENJE

2.1. OPIS POSTROJENJA

TE Plomin 2 je postrojenje za proizvodnju električne energije koje se sastoji od sljedećih tehnoloških cjelina: glavnog dijela za proizvodnju električne energije (kotao ložen ugljenom prašinom s parnom turbinom, kondenzatorom i električnim generatorom), sustava odvođenja i pročišćavanja otpadnih dimnih plinova (SCR DeNO_x uređaj, elektrostatski filter i postrojenje za mokro odsumporavanje), sustava za dobavu, skladištenje i pripremu ugljena, sustava otpreme šljake i pepela, sustava pripreme tehnološke vode s vodozahvatom Bubić jama, postrojenja za obradu otpadnih voda, protočnog rashladnog sustava s morskom vodom i pomoćnog parnog kotla (oznake PK 2) koji kao gorivo koristi plinsko ulje.

Parni kotao TE Plomin 2 (protočni kotao s prisilnom cirkulacijom tipa Sulzer ulazne toplinske snage goriva 544 MW) ima 24 plamenika (izvedba plamenika s niskom emisijom dušikovih oksida - engl. *Low NO_x*) za izgaranje ugljene prašine raspoređenih u šest ravnina. Para proizvedena u kotlu provodi se do visokotlačnog dijela parne turbine gdje se nakon ekspanzije ponovno zagrijava u kotlu u međupregrijačima te potom vraća u srednjetačni dio turbine, a zatim u niskotlačni dio parne turbine. Energija pregrijane i međupregrijane pare pretvara se u parnoj turbini u mehaničku energiju koja služi za pogon generatora i proizvodnju električne energije. Para iz niskotlačnog djela parne turbine kondenzira u kondenzatoru koji je hlađen rashladnom morskom vodom u protočnom rashladnom sustavu. Glavne tehničke značajke bloka TE Plomin 2 dane su u tab. P 5.

Tab. P 5: Tehničke značajke TE Plomin 2

Blok TE Plomin 2	godina puštanja u rad:	1999.
	instalirana električna snaga generatora:	217 MW _e
	minimalna trajna električna snaga generatora:	126 MW _e
	snaga vlastitog potroška električne energije ⁶ :	18,8 MW _e
Parni kotao	nazivna ulazna toplinska snaga goriva:	544 MW _{tg}
	nazivni stupanj djelovanja kotla:	92,9 %
	nazivni tlak svježe pare:	147 bar(g)
	nazivna temperatura svježe pare:	535 °C
	nazivni tlak međupregrijane pare:	38 bar(g)
	nazivna temperatura međupregrijane pare:	535 °C
SCR DeNO_x uređaj	broj sekcija katalizatora:	3 po visini (3. sekcija je pričuvna)
	materijali katalitičkog sloja	TiO ₂ i V ₂ O ₅
	koncentracija NH ₃ u reagensu za ubrizgavanje (amonijakna voda):	najviše 24,5 %
	temperatura dimnih plinova na ulazu u uređaj:	320 °C do 400 °C
	najmanja ostvariva koncentracija NO _x na izlazu iz uređaja:	80 mg/m ³ _{ref}
Elektrostatski filter	broj elektrostatskih polja:	8 (4 polja u dvije linije)
	nazivni stupanj otprašivanja dimnih plinova:	99,5 %
REA	reagens za odsumporavanje:	vodena suspenzija vapnenca Ca(OH) ₂
	nazivna potrošnja vapnenca (CaCO ₃):	4 t/h
	nazivni stupanj odsumporavanja dimnih plinova	97 %
	nazivni stupanj otprašivanja dimnih plinova:	80,5 %
	temperatura dimnih plinova na ulazu u REGAVO:	145 °C do 160 °C
	temperatura dimnih plinova na ulazu u absorber REA:	~ 95 °C
	temperatura dimnih plinova na izlazu iz absorbera REA:	~ 40 °C
	temperatura dimnih plinova na izlazu iz REGAVO:	90 °C

⁶ Uz iskrcaj broda za dopremu ugljena.



2.2. SASTAV GORIVA

Gorivo kojim je ložen parni kotao TE Plomin 2 je uvozni ugljen koji se u Plominski zaljev doprema brodom. Dopremljeni ugljen se iz luke otprema transportnim trakama na skladište (deponiju) ugljena ili u bunkere kotla. Iz bunkera se ugljen kontinuirano odvodi na mlinove gdje se melje i suši nakon čega se dobivena ugljena prašina uvodi u ložište kotla.

Tijekom provedbe mjerenja bit će trošen ugljen koji sadrži približno 0,8 % sumpora.

2.3. UREĐAJI ZA ODVOĐENJE I SMANJIVANJE EMISIJE OTPADNIH PLINOVA

Pročišćavanje dimnih plinova TE Plomin 2 provodi se u sustavu za smanjenje emisija dušikovih oksida (DeNOx uređaj; *high-dust* izvedba) metodom selektivne katalitičke redukcije (engl. *Selective Catalytic Reduction* - SCR).

Nakon prolaska dimnih plinova kroz SCR DeNOx uređaj, u elektrostatskom filtru se vrši otprašivanje dimnih plinova čime se smanjuje koncentracija krutih čestica (nesagorive tvari i pepeo).

Prije ispuštanja u atmosferu iz dimnih plinova se uklanja veći dio sumporovih oksida u postrojenju za odsumporavanje (njem. *Rauchgasentschwefungsanlagen* - REA). Neposredno prije absorbera za odsumporavanje dimnih plinova nalazi se regenerativni zagrijač dimnih plinova (njem. *Regenerativer Gasvorwärmer* - REGAVO).

Sirovi dimni plinovi (nakon prolaska kroz SCR DeNOx uređaj i elektrostatski filter) ulaze u regenerativni izmjenjivač topline pri temperaturi od približno 140 °C gdje predaju dio topline. Ohlađeni sirovi dimni plinovi (temperatura približno 95 °C) potom prolaze kroz absorber gdje se vrši odsumporavanje te iz njega izlaze pri temperaturi od približno 40 °C. Pročišćeni dimni plinovi zatim ponovo prolaze kroz regenerativni izmjenjivač topline gdje se zagrijavaju (do temperature od približno 90 °C) nakon čega se ispuštaju kroz dimnjak visine 340 m koji je zajednički ispust dimnih plinova elektrane TE Plomin 1 i TE Plomin 2.

3. MJERNA MJESTA

Mjerno mjesto prije postrojenja za odsumporavanje dimnih plinova (**mjerno mjesto prije REA** na sl. P 1) smješteno je na segmentu horizontalnog dimovodnog kanala između ventilatora dimnih plinova i regenerativnog zagrijača dimnih plinova (REGAVO). Mjerni priključci (4 mjerna priključka) pristupačni su s platforme koja je izvedena na dimovodnom kanalu. Dodatni mjerni priključci (4 mjerna priključka) izvedeni su na bočnoj strani dimovodnog kanala i pristupačni su s natkrivene mjerne platforme (vidi sl. P 1) koja se nalazi između dimovodnih kanala.

Mjerno mjesto nakon postrojenja za odsumporavanje dimnih plinova (**mjerno mjesto nakon REA** na sl. P 1) nalazi se na segmentu horizontalnog dimovodnog kanala između regenerativnog zagrijača dimnih plinova (REGAVO) i ulaza dimnih plinova u dimnjak visine 320 m. Mjerni priključci (4 mjerna priključka i dodatni središnji priključak) pristupačni su s bočne platforme, a sa suprotne strane dimovodnog kanala izvedeni su dodatni priključci (5 mjernih priključaka) kojima se također pristupa s natkrivene mjerne platforme.



Sl. P 1: Pogleda na mjerno mjesto prije i nakon REA te natkrivenu mjernu platformu između dimovodnih kanala

3.1. MJERNO MJESTO PRIJE REA

Platforma mjernog mjesta prije REA i pristup natkrivenoj mjernoj platformi koja je smještena između dimovodnih kanala prikazani su na sl. P 2.

Mjernoj platformi na dimovodnom kanalu pristupa se putem vertikalnih penjalica. Iznad mjerne platforme nalazi se pomoćna platforma u sklopu koje je postavljen nosač s koloturama. Pomoćna platforma i postavljene koloture služe kako bi se pomoću užeta olakšala manipulacija mjernom sondom (duljine približno 4,5 m).

Na sl. P 3 prikazani su dodatni mjerni priključci koji su postavljeni s bočne strane dimovodnog kanala unutar prostora natkrivene mjerne platforme. Ovi priključci mogu poslužiti za mjerenje volumnog udjela vlage i volumnog sastava dimnih plinova, ali zbog relativno malog raspoloživog prostora unutar natkrivene mjerne platforme nije moguće vršiti uzorkovanje po svim točkama mjernih osi.

Mjerno mjesto zadovoljava zahtjeve norme HRN EN 15259:2008 i izvedeno je tako da omogućava sigurno i nesmetano mjerenje (ali samo kod povoljnih vremenskih uvjeta).



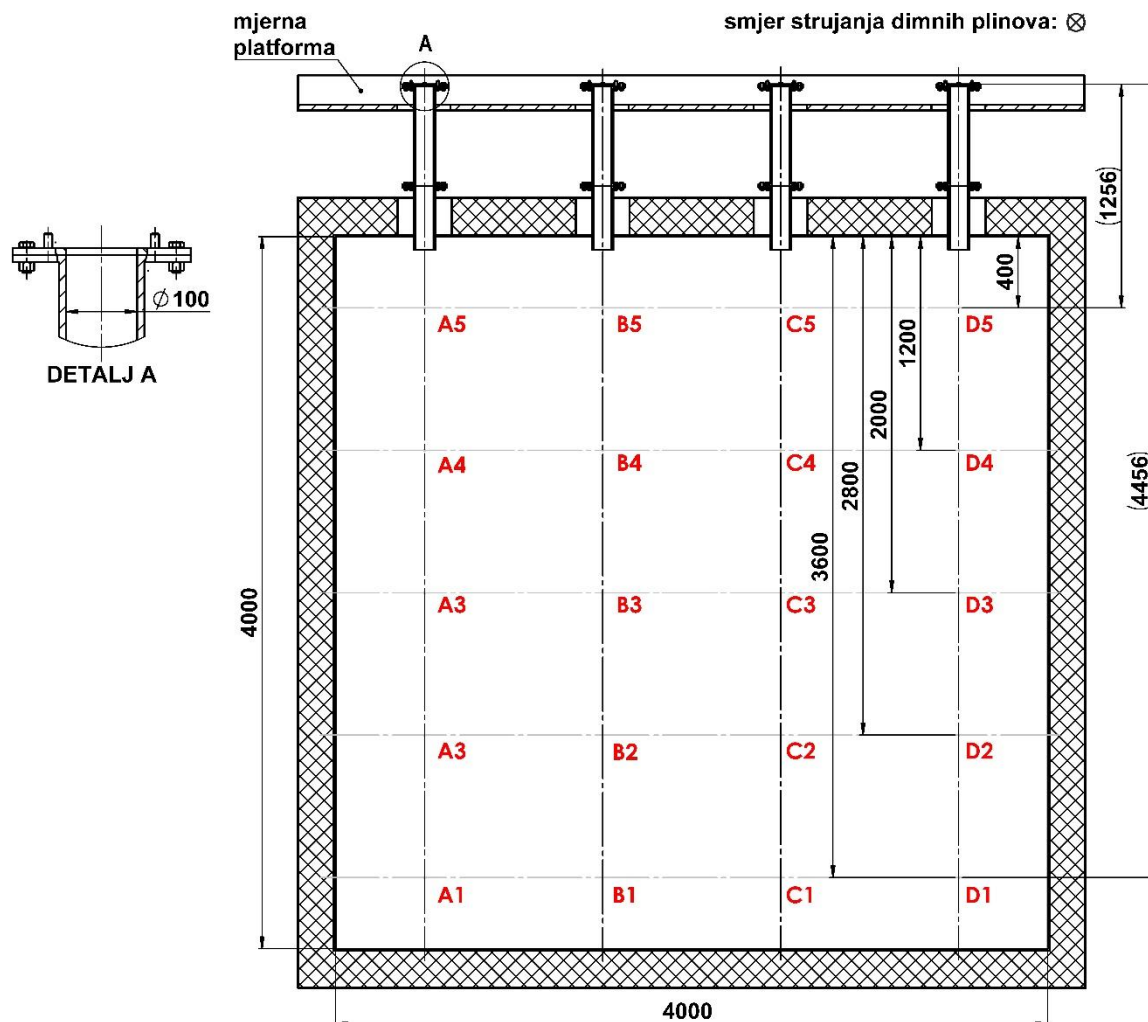
Sl. P 2: Mjerno mjesto prije REA i natkrivena mjerna platforma između dimovodnih kanala



Sl. P 3: Dodatni mjerni priključci mjernog mjesta prije REA

3.1.1 Mjerni presjek prije REA

Mjerni presjek prije REA je pravokutnog oblika visine 4 m i širine 4 m. Predloženi raspored mjernih osi i mjernih točaka dan je na sl. P 4.



Sl. P 4: Dimenzije i predloženi raspored mjernih točki po mjernom presjeku prije REA

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

Masenu koncentraciju krutih čestica i brzinu potrebno je mjeriti po presjeku u svim mjernim točkama (20 mjernih točaka).

Kao što se vidi na sl. P 4, mjerni priključci su izvedeni u skladu sa zahtjevima normi HRN EN 15259:2008, HRN ISO 9096:2017 i HRN EN 13284-1:2017.

3.2. MJERNO MJESTO NAKON REA

Pogled na platforme mjernog mjesta nakon REA prikazan je na sl. P 5. Glavna mjerna platforma, s koje su pristupačna 4 mjerna priključka (od ukupno 5) izvedena je u sklopu bočne platforme dimovodnog kanala. Na gornju platformu se dolazi putem vertikalne penjalice, a ona služi kako bi se pristupilo petom mjernom priključku.



Sl. P 5: Mjerno mjesto nakon REA

Na sl. P 6 prikazani su dodatni mjerni priključci koji su postavljeni s bočne strane dimovodnog kanala unutar prostora natkrivene mjerne platforme. Ovi dodatni priključci mogu poslužiti za mjerenje volumnog udjela vlage i volumnog sastava dimnih plinova, ali također zbog relativno malog raspoloživog prostora unutar natkrivene mjerne platforme nije moguće vršiti uzorkovanje po svim točkama mjernih osi.

Alternativno, za mjerenje volumnog udjela vlage i volumnog sastava dimnih plinova mogu poslužiti i mjerni priključci starih AMS uređaja (vidi sl. P 5).

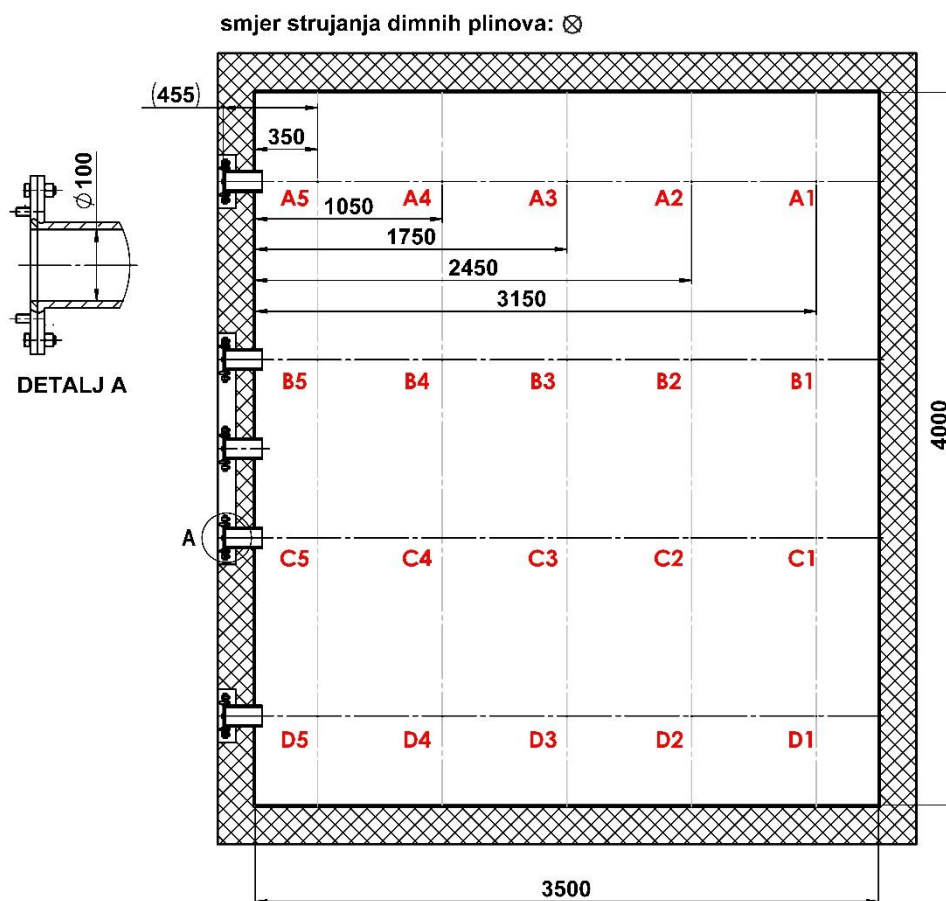
Mjerno mjesto zadovoljava zahtjeve norme HRN EN 15259:2008 i izvedeno je tako da omogućava sigurno i nesmetano mjerenje (ali samo kod povoljnih vremenskih uvjeta).



Sl. P 6: Dodatni mjerni priključci mjernog mjesta nakon REA

3.2.1 Mjerni presjek nakon REA

Mjerni presjek nakon REA je pravokutnog oblika visine 4 m i širine 3,5 m. Predloženi raspored mjernih osi i mjernih točaka dan je na sl. P 7.



Sl. P 7: Dimenzije i predloženi raspored mjernih točki po mjernom presjeku prije REA

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

Masenu koncentraciju krutih čestica i brzinu potrebno je mjeriti po presjeku u svim mjernim točkama (20 mjernih točaka).

Kao što se vidi na sl. P 7, 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 pojedinačnog mjernog presjeka (AMS prije REA i AMS nakon REA) provodit 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 njejoj 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 6.



Tab. P 6: 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. oznake E.U. 1.2 i E.U. 25.2), hladnjak M&C PSS-5 (lab. oznake E.U. 25.3 i E.U. 29.3), analizator HORIBA PG-350EU (lab. oznaka E.U. 31.1).
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	HRN EN 14790:2017	HRN EN 14790:2017	Sustav za uzorkovanje Paul Gothe (pumpa, grijano crijevo, hladnjak) (lab. oznake od E.U. 20.1 do E.U. 20.5), plinomjer (lab. oznaka E.U. 20.12), NTC temperaturni osjetnici (lab. oznaka E.U. 20.7 i E.U. 20.8), komplet ispiralica za uzorkovanje vlage (lab. oznaka E.U. 20.9), ALMEMO 2590-4S (lab. oznaka E.U. 21.2), precizna vaga (lab. oznaka E.U. 18.1).
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. 21.2).
tlak u ispustu			Osjetnici tlaka u sklopu SICK GRAVIMAT-a SHC 501 (lab. oznaka E.U. 26.1).

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 prema radnom postupku *eLAB-PE-105 - Mjerenje emisija krutih čestica GRAVIMAT-om*.

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

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

gdje je:

- v , m/s; brzina dimnih plinova u ispustu mjerena SICK GRAVIMAT-om SHC 501,
- p_{10} , hPa; totalni pretlak mjeren SICK GRAVIMAT-om SHC 501,
- p_0 , hPa; barometarski tlak mjeren SICK GRAVIMAT-om SHC 501,
- ρ , kg/m³; gustoća vlažnih dimnih plinova kod stanja u ispustu. Gustoća je funkcija od sastava vlažnih dimnih plinova te tlaka (p) i temperature (ϑ) u ispustu.



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

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

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

4.1.2 Vlažnost plinova

Potrebno je provesti najmanje 15 mjerenja (paralelno s mjerenjima emisije krutih čestica i sastava suhih dimnih plinova) vlažnosti plinova u ispuštima prema radnom postupku: *eLAB-PE-107 - Mjerenje vlage u otpadnom plinu* (gravimetrijska metoda).

4.2. MJERENJE EMISIJE PLINOVITIH TVARI

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 emisije krutih čestica i vlažnosti 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 ispuštu (za mjerni presjek prije REA očekivane koncentracije su $O_2 \cong 6\%$, $CO \cong 10 \text{ mg/m}^3$, $SO_2 \cong 1\,200 \text{ mg/m}^3$ i $NO_x \cong 100 \text{ mg/m}^3$; za mjerni presjek nakon REA očekivane koncentracije su $O_2 \cong 6\%$, $CO \cong 10 \text{ mg/m}^3$, $SO_2 \cong 70 \text{ mg/m}^3$ i $NO_x \cong 100 \text{ mg/m}^3$).

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

Koncentracija SO_2 u dimnom plinu odredit će se prema radnom postupku: *eLAB-PE-101 - Uzorkovanje plinova radi određivanja koncentracije (metoda određivanja HRN ISO 7935)*, a ne prema radnom postupku za referentnu metodu određivanja SO_x : *eLAB-PE-102 - Uzorkovanje sumporovih oksida (tzv. mokra metoda, HRN EN 14791:2005)*. Razlog tome je prisutnost slobodnog amonijaka (NH_3) u dimnim plinovima. Amonijak je lako topiv u vodi te u ispiralicama s vodenom otopinom vodikovog peroksida reagira sa sumpornim dioksidom tvoreći amonijev sulfat ($NH_4)_2SO_4$ i/ili amonijev bisulfat NH_4HSO_4 koji u otopini disociraju na sulfatne SO_4^{2-} i/ili bisulfatne HSO_4^{1-} ione, a ne na očekivane sulfatne SO_4^{2-} ione.

Tehnički odgovorna osoba:

Andrej Slavica, mag. ing. mech.