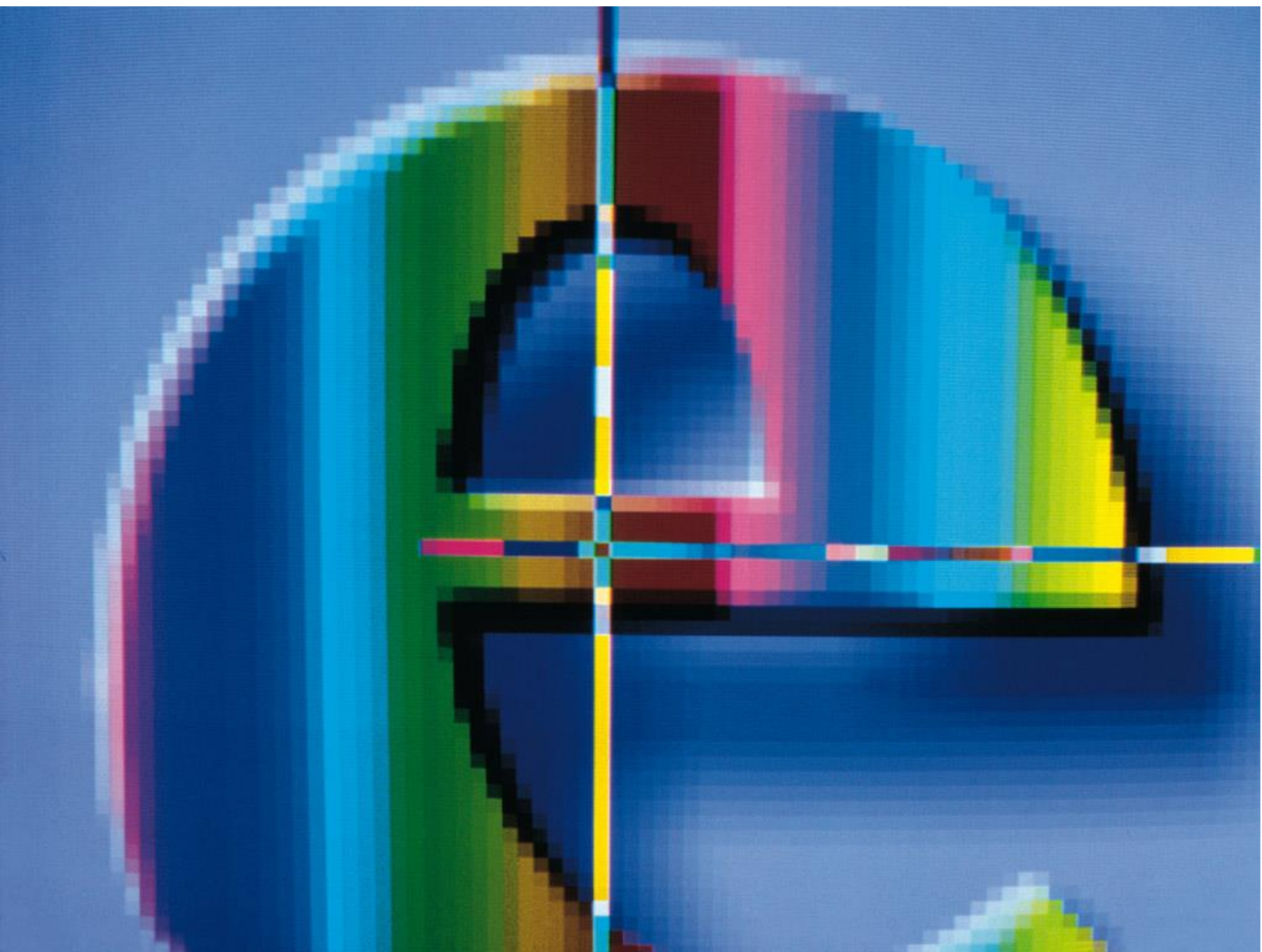


**UMJERAVANJE AUTOMATSKIH
MJERNIH SUSTAVA ZA
KONTINUIRANO MJERENJE EMISIJA
U ZRAK BLOKA L EL-TO ZAGREB**



Zagreb, 2025.



Naručitelj: **Siemens d.d.**
Heinzelova 70a
10000 Zagreb

Ugovor broj: 9500274641

Radni nalog: I-02-2231

Naslov:

**UMJERAVANJE AUTOMATSKIH MJERNIH SUSTAVA
ZA KONTINUIRANO MJERENJE EMISIJA U ZRAK BLOKA L EL-TO ZAGREB**

Ispitivanja proveli: mr. sc. Željko Slavica, dipl. ing. stroj.
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, 18. 7. 2025.

SADRŽAJ

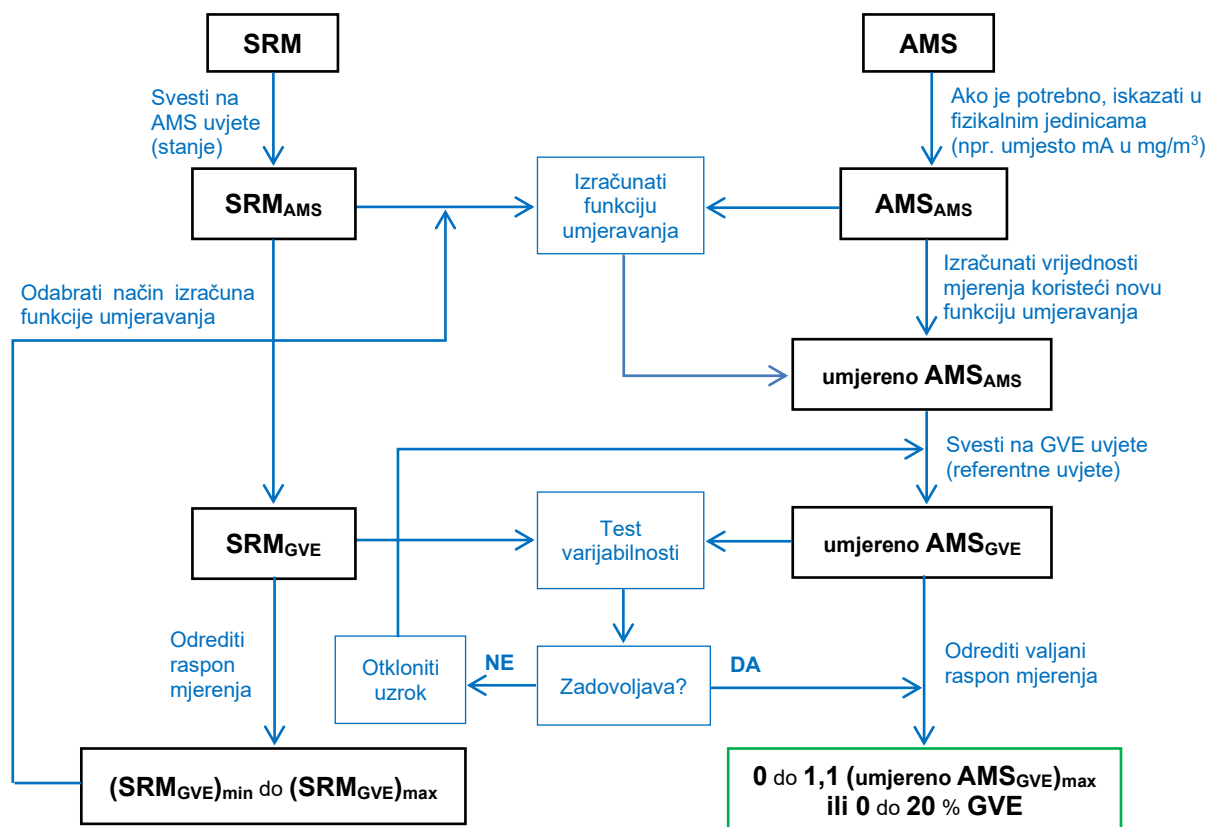
| | |
|---|-----------|
| 1. UVOD | 2 |
| 2. AUTOMATSKI MJERNI SUSTAVI | 3 |
| 2.1. MJERNI UREĐAJI | 4 |
| 2.1.1. Mjerenje temperature dimnih plinova osjetnikom Siemens SITRANS TS500 | 5 |
| 2.1.2. Mjerenje tlaka dimnih plinova pretvaračem Siemens Sitrans P320 | 5 |
| 2.1.3. Mjerenje brzine uređajem DURAG D-FL 100 | 5 |
| 2.1.4. Mjerenje CO, NO i O ₂ analizatorom Siemens ULTRAMAT 23 | 6 |
| 2.1.5. Mjerenje SO ₂ analizatorom Siemens SIPROCESS UV600 | 7 |
| 2.1.6. Mjerenje O ₂ uređajem ENOTEC OXITEC 5000 | 8 |
| 2.2. AMS RAČUNALO | 9 |
| 3. REZULTATI | 10 |
| 3.1. ISPUST PLINSKE TURBINE PT1 | 12 |
| 3.1.1. Mjerenje temperature uređajem Siemens SITRANS TS500 | 15 |
| 3.1.2. Mjerenje O ₂ uređajem Siemens ULTRAMAT 23 | 17 |
| 3.1.3. Mjerenje O ₂ uređajem ENOTEC OXITEC 5000 | 19 |
| 3.1.4. Mjerenje tlaka uređajem Siemens Sitrans P320 | 21 |
| 3.1.5. Mjerenje protoka uređajem DURAG D-FL 100 | 23 |
| 3.1.6. Mjerenje NO _x uređajem Siemens ULTRAMAT 23 | 25 |
| 3.1.7. Mjerenje SO ₂ uređajem Siemens SIPROCESS UV600 | 28 |
| 3.1.8. Mjerenje CO uređajem Siemens ULTRAMAT 23 | 30 |
| 3.2. ISPUST PLINSKE TURBINE PT2 | 32 |
| 3.2.1. Mjerenje temperature uređajem Siemens SITRANS TS500 | 34 |
| 3.2.2. Mjerenje O ₂ uređajem Siemens ULTRAMAT 23 | 36 |
| 3.2.3. Mjerenje O ₂ uređajem ENOTEC OXITEC 5000 | 38 |
| 3.2.4. Mjerenje tlaka uređajem Siemens Sitrans P320 | 40 |
| 3.2.5. Mjerenje protoka uređajem DURAG D-FL 100 | 42 |
| 3.2.6. Mjerenje NO _x uređajem Siemens ULTRAMAT 23 | 44 |
| 3.2.7. Mjerenje CO uređajem Siemens ULTRAMAT 23 | 47 |
| 4. ZAKLJUČAK | 49 |
| <u>KRATICE I INDEKSI</u> | 51 |
| <u>POJMOVNIK</u> | 53 |

PRILOG

- A. L-I-02-2231/25 EKONERG - *Laboratorij za mjerenje emisija*: Izveštaj o mjeranju emisija iz ispusta plinskih turbina bloka L EL-TO Zagreb, 18. srpanj 2025.

1. UVOD

Umjeravanje uređaja automatskih mjernih sustava (AMS) za kontinuirano mjerenje emisija u zrak iz ispusta dimnih plinova kotla na otpadnu toplinu KIP1 plinske turbine PT1 (**CEMS1**) i kotla na otpadnu toplinu KIP2 plinske turbine PT2 (**CEMS2**) bloka L EL-TO Zagreb 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 ispusta dimnih plinova kotla na otpadnu toplinu KIP1 plinske turbine PT1 (CEMS1)

| Mjerena veličina | | AMS uređaj |
|--------------------------------------|--|--|
| Vlažni plinovi (stanje u ispustu) | protok (brzina), Q | DURAG D-FL 100 (serijski broj 1295373) |
| | temperatura, ϑ | termometar Pt100 Siemens Sitrans TS500 |
| | tlak, p | Siemens Sitrans P320 |
| | kisik, $O_{2\text{ wet}}$ | ENOTEC OXITEC 5000 |
| Suhi plinovi (normirano stanje) | ugljičkov monoksid, CO | ekstraktivni višekomponentni analizatorski sustav Siemens ULTRAMAT 23 (serijski broj N1MD293) s Bühler Bunox katalitičkim konverterom za pretvorbu NO_2 u NO |
| | dušikov monoksid, NO | |
| | kisik, O_2 | |
| | sumporov dioksid, SO_2 ¹⁾ | ekstraktivni analizatorski modul Siemens SIPROCESS UV600 (serijski broj N1N1600219) |

¹⁾ Uređaj je smješten u analitičkom ormaru CEMS1, a može ga koristiti CEMS1 ili CEMS2 (može mjeriti koncentraciju SO_2 iz ispusta dimnih plinova KIP1 ili KIP2)

Tab. 2: Pregled AMS uređaja ispusta dimnih plinova kotla na otpadnu toplinu KIP2 plinske turbine PT2 (CEMS2)

| Mjerena veličina | | AMS uređaj |
|--------------------------------------|---------------------------|--|
| Vlažni plinovi (stanje u ispustu) | protok (brzina), Q | DURAG D-FL 100 (serijski broj 1295376) |
| | temperatura, ϑ | termometar Pt100 Siemens Sitrans TS500 |
| | tlak, p | Siemens Sitrans P320 |
| | kisik, $O_{2\text{ wet}}$ | ENOTEC OXITEC 5000 |
| Suhi plinovi (normirano stanje) | ugljikov monoksid, CO | ekstraktivni višekomponentni analizatorski sustav Siemens ULTRAMAT 23 (serijski broj N1MD294) s Bühler Bunox katalitičkim konverterom za pretvorbu NO_2 u NO |
| | dušikov monoksid, NO | |
| | kisik, O_2 | |

Kao što se vidi iz dijagrama toka na sl. 1, QAL2 postupak (umjeravanje) temelji se na usporedbi rezultata paralelnih mjerenja između AMS uređaja i kontrolnih mjerenja koja su provedena standardnim referentnim metodama (skraćeno SRM).

Kontrolni proračun volumnog udjela vodene pare u dimnim plinovima (H_2O , %) te paralelna mjerenja: brzine dimnih plinova (v , m/s), temperature dimnih plinova (ϑ , °C), tlaka (p , hPa), 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 izvora emisija i tehničke značajke izvora emisija (plinska turbina PT1 s kotlom na otpadnu toplinu KIP1 i plinska turbina PT2 s kotlom na otpadnu toplinu KIP2 bloka L EL-TO Zagreb), 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

Svaki automatski mjerni sustav bloka L (CEMS1 i CEMS2) sastoji se od neekstraktivnih (lat. *in-situ*) mjernih uređaja te ekstraktivnog mjernog podsustava.

Svaki ekstraktivni mjerni podsustav se sastoji od: sustava za uzorkovanje dimnih plinova, dva paralelna sustava za pripremu ohlađenih suhih uzorkovanih dimnih plinova (jedan služi kao redundantni sustav) i modularnog analizatorskog sustava. Sustav za uzorkovanje dimnih plinova čini sonda s grijanom glavom (smještene na koti 52,5 m) koja putem grijanog crijeva vodi

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*.

uzorkovane dimne plinove prema kontejneru koji se nalazi u podnožju strojarnice plinskih turbina. Unutar kontejnera je smješten analitički ormar unutar kojeg se nalazi: dva paralelna sustava za pripremu ohlađenih suhih uzorkovanih dimnih plinova (svaki se sastoji od pumpe i 2-stupanjskog hladnjaka) te višekomponentni analizatorski sustav Siemens ULTRAMAT 23 s Bühler Bunox katalitičkim konverterom (za pretvorbu NO_2 u NO) za mjerenje CO , NO (NO_x kao NO) i O_2 . Unutar analitičkog ormara CEMS1 dodatno je smješten ekstraktivni analizatorski modul Siemens SIPROCESS UV600 koji služi za mjerenje SO_2 iz ispusta dimnih plinova KIP1 ili KIP2 (može mjeriti SO_2 iz jednog od ispusta, ali ne istovremeno).

Neekstraktivni mjerni uređaji za mjerenje protoka dimnih plinova (DURAG D-FL 100), temperature (Pt100 osjetnik Siemens Sitrans TS500) i statičkog tlaka dimnih plinova (Siemens Sitrans P320) iz svakog ispusta smješteni su na koti 52,5 m. Neekstraktivni mjerni uređaji povezani su s upravljačkom jedinicom koja se nalazi u svakom analitičkom kontejneru. Dodatno, mjerenje volumnog udjela kisika u vlažnim dimnim plinovima ($O_{2\text{ wet}}$) iz svakog ispusta se također vrši neekstraktivnim mjernim uređajima (ENOTEC OXITEC 5000) na koti 52,5 m, dok se njihove upravljačke jedinice nalaze u rashladnoj prostoriji (*cooling room*) na vrhu strojarnice plinskih turbina.

Izmjereni signali AMS uređaja oba sustava se putem sustava za prijenos i pretvorbu podataka prosljeđuju zajedničkom računalu EMIDATE koje je smješteno u analitičkom kontejneru gdje se vrši obrada, prikaz, izvješćivanje i pohrana izmjerenih emisijskih veličina. Dodatno, svaki automatski mjerni sustav izmjerene vrijednosti prosljeđuje i procesnom sustavu Siemens SPPA-T3000 koji je smješten u upravljačkoj prostoriji bloka L. Izmjerene vrijednosti SO_2 se mogu pregledati putem emisijskog računala EMIDATE, ali ih sustav ne pohranjuje i nisu uključene u sklopu izvješćivanja pa ih stoga treba prikupiti iz procesnog sustava Siemens SPPA-T3000.

2.1. Mjerni uređaji

Za mjerenje volumnih udjela plinovitih tvari u oba mjerna presjeka koristi se ekstraktivna metoda, dok se dodatno mjerenje volumnog udjela kisika u vlažnim plinovima, protok, tlak i temperatura dimnih plinova mjere izravno u ispustima (engl. *on site*, lat. *in-situ*). Postavke mjernih uređaja dane su tab. 3 i tab. 4.

Tab. 3: Postavke uređaja CEMS1 (2. lipanj 2025.)

| Emisijska veličina | Proporcionalnost analognog signala 4 - 20 mA | Kalibracijski koeficijenti uređaja | Napomena |
|--------------------|--|--------------------------------------|---|
| CO | 0 - 125 $mg/m_n^3_{sdp}$ | - | Siemens ULTRAMAT 23 ima mogućnost korištenja dva mjerna raspona. Za sva mjerenja koristi se rasponi dani u tablici. |
| NO | 0 - 75 $mg/m_n^3_{sdp}$ | - | |
| O_2 | 0 - 25 % $_{sdp}$ | - | |
| SO_2 | 0 - 85 $mg/m_n^3_{sdp}$ | - | |
| $O_{2\text{ wet}}$ | 0 - 21 % $_{vdp}$ | - | ENOTEC OXITEC 5000 ima mogućnost korištenja dva mjerna raspona a koristi se raspon dan u tablici. |
| p | 43 - 1 300 hPa | - | Osjetnik mjeri apsolutni tlak. |
| ϑ | 0 - 400 °C | - | - |
| Q | 0 - 600 000 $m_n^3_{vdp}/h$ | $a_0 = 0; a_1 = 1; a_2 = 0; a_3 = 0$ | $Q_{cal} = a_0 + a_1 \cdot Q + a_2 \cdot Q^2 + a_3 \cdot Q^3$ |

Tab. 4: Postavke uređaja CEMS2 (2. lipanj 2025.)

| Emisijska veličina | Proporcionalnost analognog signala 4 - 20 mA | Kalibracijski koeficijenti uređaja | Napomena |
|--------------------|--|--|---|
| CO | 0 - 125 mg/m ³ _{sdp} | - | Siemens ULTRAMAT 23 ima mogućnost korištenja dva mjerna raspona. Za sva mjerenja koristi se raspon čije postavke su dane u tablici. |
| NO | 0 - 75 mg/m ³ _{sdp} | - | |
| O ₂ | 0 - 25 % _{sdp} | - | |
| O _{2 wet} | 0 - 21 % _{vdp} | - | ENOTEC OXITEC 5000 ima mogućnost korištenja dva mjerna raspona a koristi se raspon dan u tablici. |
| p | 43 - 1 300 hPa | - | Osjetnik mjeri apsolutni tlak. |
| θ | 0 - 400 °C | - | - |
| Q | 0 - 600 000 m ³ _{vdp} /h | a ₀ = 0; a ₁ = 1; a ₂ = 0; a ₃ = 0 | Q _{cal} = a ₀ + a ₁ · Q + a ₂ · Q ² + a ₃ · Q ³ |

2.1.1. Mjerenje temperature dimnih plinova osjetnikom Siemens SITRANS TS500

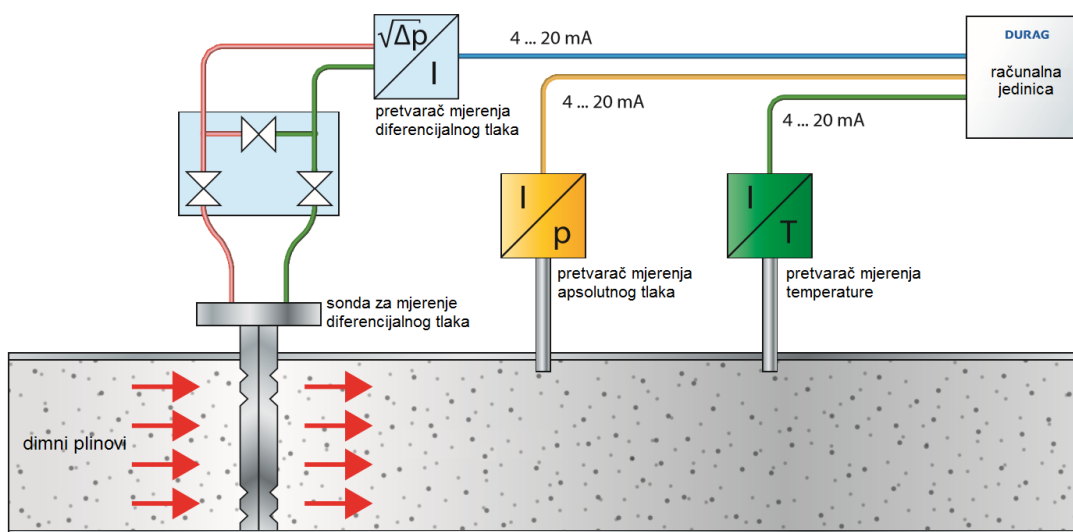
Metoda mjerenja temperature otpornim termometrom zasniva se na fizikalnom svojstvu promjene električnog otpora metala (platina, od tuda oznaka Pt) s temperaturom. Kod temperature 0 °C otporni termometar tipa Pt100 ima električni otpor 100 Ω. Kroz otporni termometar se provodi konstantna električna struja 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 tlaka dimnih plinova pretvaračem Siemens Sitrans P320

Za mjerenje tlaka dimnih plinova u svakom ispustu ugrađen je piezo-otporni pretvarač Siemens Sitrans P320. Piezo-otporni osjetnik izrađen je od kristala (najčešće silicij) koji pod utjecajem naprezanja (tlaka) mijenja električni otpor. Pretvarač koristi četiri jednaka piezo-otpornika spojena u Wheatstoneov most. Tlaku iz ispusta je izložen samo jedan od četiri piezo-otpornika, dok su preostala tri u vakuumu. Piezo-otpornik izložen tlaku iz ispusta mijenja otpor što rezultira pojavom napona u tzv. mjernoj dijagonali mosta. Mjereni napon proporcionalan je tlaku.

2.1.3. Mjerenje brzine uređajem DURAG D-FL 100

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



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

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

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

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

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

gdje je:

- Q_n ; m³/h; protok dimnih plinova pri normiranom stanju (273,15 K i 1013,25 hPa),
- k ; -; korekcijski koeficijent Pitot sonde; $k = 0,7878$,
- Δp ; hPa; diferencijalni tlak u ispustu (mjeren Pitot sondom),
- ρ ; kg/m³; gustoća dimnih plinova,
- ρ_n ; kg/m³; gustoća dimnih plinova pri normiranom stanju; $\rho_n = 1,237$ kg/m³,
- p ; hPa; apsolutni tlak u ispustu dimnih plinova (mjeren osjetnikom tlaka),
- p_n ; hPa; tlak normiranog stanja; $p_n = 1013,25$ hPa,
- T_n ; K; temperatura normiranog stanja; $T_n = 273,15$ K,
- T ; K; temperatura dimnih plinova; $T = \vartheta + 273,15$ K,
- D ; mm; promjer ispusta; $D = 2965$ mm,
- ϑ ; °C; temperatura dimnih plinova (mjerena otpornim osjetnikom Pt100).

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

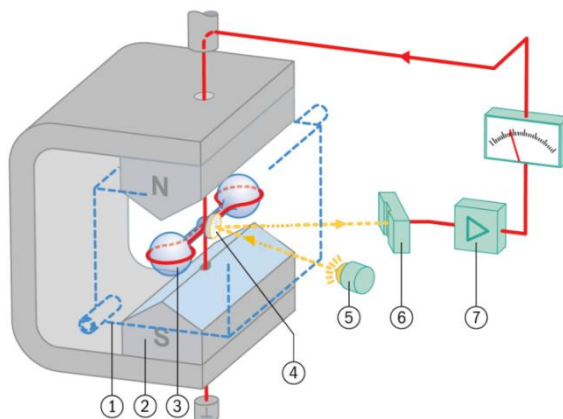
Mjerenje volumnih udjela CO, NO (mjeri NO_x kao NO u kombinaciji s Bühler Bunox katalitičkim konverterom) i O₂ u suhim dimnim plinovima vrši se pomoću višekomponentnog analizatora ekstraktivnog tipa Siemens ULTRAMAT 23 koji je prikazan na sl. 3.



Sl. 3: Siemens ULTRAMAT 23

Siemens ULTRAMAT 23 mjeri volumne udjele CO i NO 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. 4. Propuštanjem dimnih plinova kroz jako magnetsko polje koje se mijenja zbog paramagnetskih svojstava kisika rezultira zakretanjem dijamagnetskog² utega (dvije šuplje sfere na sl. 4). Uređaj optičko-elektronički kompenzira zakret utega, a mjerljivi napor kompenzacije je proporcionalan koncentraciji O_2 .



Sl. 4: 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

2.1.5. Mjerenje SO_2 analizatorom Siemens SIPROCESS UV600

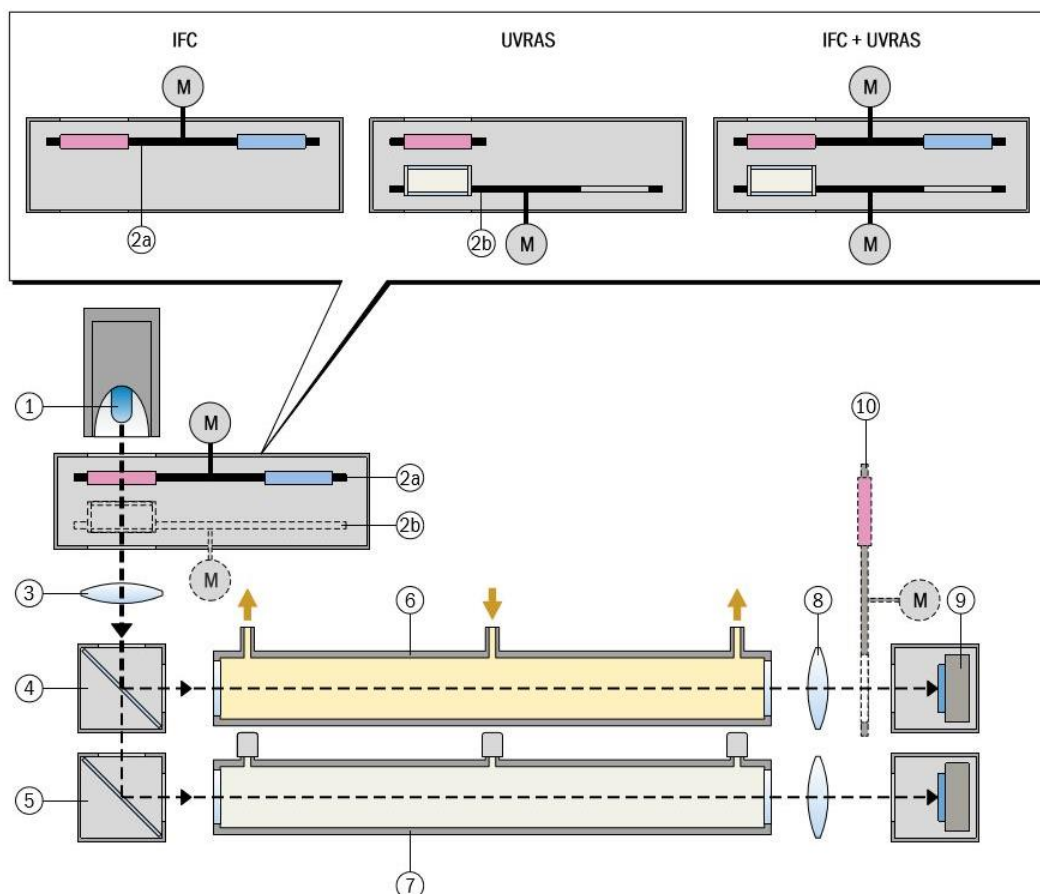
Mjerenje volumnih udjela SO_2 u suhim dimnim plinovima vrši se pomoću modularnog analizatora ekstraktivnog tipa Siemens SIPROCESS UV600 koji je prikazan na sl. 3.



Sl. 5: Siemens SIPROCESS UV600

Siemens SIPROCESS UV600 mjeri volumni udio SO_2 metodom ne-disperzivne ultraljubičaste apsorpcije (engl. *Non-Dispersive Ultraviolet* - NDUV) koja se zasniva na pojavi da molekule plinova apsorbiraju ultraljubičasto zračenje različitih valnih duljina. Filtriranjem ultraljubičastog zračenja izdvaja se samo uski dio spektra u kojem je apsorpcija mjerenog plina najveća. Ovisno o konfiguraciji modula, uređaj koristi različite filtere za mjerenje koncentracije NO , NO_2 i SO_2 (UVRAS za mjerenje NO te IFC za mjerenje NO_2 i SO_2).

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



Sl. 6: Modul Siemens SIPROCESS UV600 s UVRAS i NDUV metodama mjerenje NO , NO_2 i SO_2

1: izvor UV svijetla; 2a: rotirajući IFC³ filter za mjerenje NO_2 i SO_2 ; 2b: rotirajući GFC⁴ filter za mjerenje NO ; 3: leća kolimatora; 4: djeliteľ UV zrake; 5: zrcalo; 6: ćelija uzorkovanih dimnih plinova; 7: referentna ćelija s neutralnim plinom; 8: konvergentna leća; 9: detektor svjetlosti; 10: jedinica za ugađanje; M: motor

2.1.6. Mjerenje O_2 uređajem ENOTEC OXITEC 5000

Za mjerenje volumnog udjela kisika u vlažnim plinovima koristi se uređaj ENOTEC OXITEC 5000 osjetnik od cirkonijevog dioksida (ZrO_2) koji je prikazan na sl. 7.

Kod visokih temperatura cirkonijev dioksid se za kisik ponaša kao kruti elektrolit te ioni kisika lako prolaze kroz njegovu kristalnu strukturu. Ako se na jednoj strani osjetnika od cirkonijevog dioksida nalazi referentni plin (zrak) a na drugoj strani uzorak, tada će se ioni kisika kretati sa strane veće koncentracije kisika na stranu s nižom koncentracijom kisika. Kretanje iona stvara elektromagnetsku silu, tzv. Nernstov napon, koji je proporcionalan prirodnom logaritmu omjera koncentracija kisika u uzorku i referentnom plinu.

³ Korelacijski interferentni filter (engl. *Interference Filter Correlation* - IFC) čine dva rotirajuća filtra (izmjenjuju se) s različitim transmisijskim karakteristikama.

⁴ Rotirajući filter punjen plinom (engl. *Gas Filter Correlation* - GFC) za ultraljubičastu rezonantnu apsorpcijsku spektrometriju NO .



SI. 7: ENOTEC OXITEC 5000

2.2. AMS RAČUNALO

Mjerni uređaji oba mjerna sustava povezani su analognom vezom sa zajedničkim AMS računalom (emisijsko računalo s programom EMIDATE) koje služi za obradu, prikaz, izvješćivanje i pohranu izmjerenih emisijskih veličina. Dodatno, oba mjerna sustava proslijeđuju izmjerene vrijednosti procesnom sustavu Siemens SPPA-T3000.

Kako je svaki analogni strujni signal (4 mA - 20 mA) izmjerenih veličina (CO , NO , SO_2 , O_2 , $O_{2\text{ wet}}$, Q , p i ϑ) lineariziran, to znači da su i digitalni signali ovih veličina također linearni. Stoga za izračun tzv. „sirovih“ fizikalnih veličina računalo koristi jednadžbe pravca (tzv. regresijske pravce) koji se određuju umjeravanjem. Računalo vrši preračun „sirovih“ fizikalnih emisijskih veličina na referentne uvjete koji odgovaraju volumenu suhih plinova ($H_2O = 0\%$) kod referentnog sadržaja kisika ($O_2 = 15\%$) pri $0\text{ }^\circ\text{C}$ i $1013,25\text{ hPa}$. Računalo potom računa tzv. provjerene vrijednosti emisija tako što od važećih⁵ 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. $\%_{\text{sdp}}$, m^3_{isp}) dan je u poglavlju KRATICE I INDEKSI.

⁵ Izuzimaju se vrijednosti izmjerene tijekom upuštanja u rad, prestanka rada plinske turbine te u slučaju opterećenja manjeg od 70%.

Tab. 5: Izračun emisijskih veličina u algoritmu emisijskog računala (2. lipanj 2025.)

| Mjerni sustav | Mjerena veličina | Proporcionalnost analognog signala 4 - 20 mA | Izračun mjerene („sirove“) vrijednosti | Korekcijski koeficijenti za svodenje na referentne (GVE) uvjete | | | |
|---------------|--------------------|--|--|---|------------|-----------------|-------|
| | | | | k_{O_2} | k_{H_2O} | k_{ϑ} | k_p |
| CEMS1 | CO | 0 - 125 mg/m ³ _{sdp} | CO = 7,8125 · (mA) - 31,25 | DA | - | - | - |
| | NO | 0 - 75 mg/m ³ _{sdp} | NO = 4,6875 · (mA) - 18,75 | DA | - | - | - |
| | O ₂ | 0 - 25 % _{sdp} | O ₂ = 1,5625 · (mA) - 6,25 | - | - | - | - |
| | ϑ | 0 - 400 °C | ϑ = 25 · (mA) - 100 | - | - | - | - |
| | p | 43 - 1 300 hPa | p = 78,5625 · (mA) - 271,25 | - | - | - | - |
| | Q | 0 - 600 000 m ³ _{vdp} /h | Q = 37 500 · (mA) - 150 000 | DA | NE | - | - |
| | O _{2 wet} | 0 - 21 % _{vdp} | O _{2 wet} = 1,3125 · (mA) - 5,25 | - | - | - | - |
| | H _{2O} | - | H _{2O} = (O ₂ - O _{2 wet})/O ₂ · 100% | - | - | - | - |
| | SO ₂ | 0 - 85 mg/m ³ _{sdp} | SO ₂ = 5,3125 · (mA) - 21,25 | DA | - | - | - |
| CEMS2 | CO | 0 - 125 mg/m ³ _{sdp} | CO = 7,8125 · (mA) - 31,25 | DA | - | - | - |
| | NO | 0 - 75 mg/m ³ _{sdp} | NO = 4,6875 · (mA) - 18,75 | DA | - | - | - |
| | O ₂ | 0 - 25 % _{sdp} | O ₂ = 1,5625 · (mA) - 6,25 | - | - | - | - |
| | ϑ | 0 - 400 °C | ϑ = 25 · (mA) - 100 | - | - | - | - |
| | p | 43 - 1 300 hPa | p = 78,5625 · (mA) - 271,25 | - | - | - | - |
| | Q | 0 - 600 000 m ³ _{vdp} /h | Q = 37 500 · (mA) - 150 000 | DA | NE | - | - |
| | O _{2 wet} | 0 - 21 % _{vdp} | O _{2 wet} = 1,3125 · (mA) - 5,25 | - | - | - | - |
| | H _{2O} | - | H _{2O} = (O ₂ - O _{2 wet})/O ₂ · 100% | - | - | - | - |

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 CO, NO_x⁶ i SO₂ na referentne uvjete vrši se množenjem izmjerene (tzv. „sirove“) vrijednosti s korekcijskim koeficijentom k_{O_2} . Preračun protoka dimnih plinova (Q)⁷ na referentne uvjete vrši se dijeljenjem izmjerene vrijednosti s koeficijentom k_{O_2} (korekcija dijeljenjem s koeficijentom k_{H_2O} nije još implementirana). Pri tome se korekcijski koeficijenti računaju na sljedeći način:

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

gdje je:

O₂; %; volumni udio kisika u suhim dimnim plinovima,H_{2O}; %; volumni udio vodene pare (vlage) u vlažnim dimnim plinovima,

t; °C; temperatura dimnih plinova,

p; hPa; tlak 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

⁶ Preračun koncentracije NO_x iskazan kao NO u koncentraciju iskazanu kao NO₂ vrši se množenjem s koeficijentom 1,53.

⁷ Protok kao mjerena veličina je iskazan pri normnom stanju (0 °C i 1013,25 hPa).

(integrirano sprečavanje i kontrola onečišćenja) propisane su polovine dvostranih 95 %-tnih intervala pouzdanosti AMS uređaja koje su iskazane kao postotci (P) od graničnih vrijednosti emisija (GVE). Kako je mjerna nesigurnost polovina ukupnog intervala pouzdanosti (I), tada se propisana standardna devijacija σ_0 računa na sljedeći način:

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

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

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

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

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

gdje je:

- u_g ; °C; kombinirana mjerna nesigurnost AMS uređaja Pt100 za mjerenje temperature dimnih plinova u ispustu,
- 4,6 °C; granična greška otpornog termometra Pt100 klase C kod 400 °C prema IEC 60751:2009⁸,
- 4,0 °C; procijenjena granična greška uređaja za prijenos i obradu signala otpornog termometra Pt100.

Mjerna nesigurnost (u_p) AMS uređaja za mjerenje tlaka dimnih plinova u ispustu određena je kako slijedi:

$$u_p = \sqrt{\left(\frac{6 \text{ hPa}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{6 \text{ hPa}}{\sqrt{3}}\right)^2} = 4,9 \text{ hPa}, \quad (7)$$

gdje je:

- u_p ; hPa; kombinirana mjerna nesigurnost AMS uređaja Siemens Sitrans P320 za mjerenje tlaka dimnih plinova,
- 6 hPa; procijenjena granična greška pretvarača Siemens Sitrans P320 za mjerenje tlaka dimnih plinova,
- 6 hPa; procijenjena granična greška uređaja za prijenos i obradu signala tlaka dimnih plinova u ispustu.

⁸ HRN EN 60751:2009: Industrijski platinasti otporni termometri i platinasta toplinska osjetila (osjetila temperature) (IEC 60751:2008; EN 60751:2008).

Radi određivanja intervala pouzdanosti AMS uređaja za mjerenje brzine, korištena je dozvoljena kombinirana mjerna nesigurnost AMS uređaja DURAG D-FL 100 prema QAL1 tipskom odobrenju koja sukladno zahtjevu norme EN 15267-3 iznosi 7,5 % mjernog raspona. Dakle, za standardnu devijaciju (σ_0) protoka dimnih plinova usvojena je mjerna nesigurnost (u_Q)⁹ u iznosu od $\pm 17\,545\text{ m}_n^3\text{ vdp/h}$.

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

| Veličina | GVE | P | Mjerni raspon | Proširena mjerna nesigurnost | σ_0 |
|-----------------|---|------|-----------------|-------------------------------------|---|
| CO | 100 mg/m ³ _{ref} | 10 % | | $\pm 10\text{ mg/m}^3\text{_{ref}}$ | $\pm 5,10\text{ mg/m}^3\text{_{ref}}$ |
| NO _x | 50 mg/m ³ _{ref} | 20 % | | $\pm 10\text{ mg/m}^3\text{_{ref}}$ | $\pm 5,10\text{ mg/m}^3\text{_{ref}}$ |
| O ₂ | 21 % _{sdp} ¹⁾ | 10 % | | $\pm 2,1\%_{\text{sdp}}$ | $\pm 1,07\%_{\text{sdp}}$ |
| ϑ | | | 0 - 400 °C | | $\pm 3,52\text{ °C}$ |
| p | | | 900 - 1 100 hPa | | $\pm 4,90\text{ hPa}$ |
| Q | | | | | $\pm 17\,545\text{ m}_n^3\text{ vdp/h}$ |
| SO ₂ | 35 mg/m ³ _{ref} ²⁾ | 20 % | | $\pm 7\text{ mg/m}^3\text{_{ref}}$ | $\pm 3,57\text{ mg/m}^3\text{_{ref}}$ |

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⁾ GVE za postojeće velike turbine s obzirom da za nove plinske turbine GVE za SO₂ nije definiran

3.1. ISPUST PLINSKE TURBINE PT1

4. i 5. lipnja 2025. godine EKONERG-ov *Laboratorij za mjerenje emisija* je u mjernom presjeku ispusta dimnih plinova kotla na otpadnu toplinu KIP1 plinske turbine PT1 izvršio petnaest paralelnih mjerenja (M1-M15): temperature (ϑ), izračuna volumnog udjela kisika u vlažnim plinovima ($O_{2\text{ wet}}$), protoka dimnih plinova (Q), tlaka (p) i volumnih udjela SO₂, CO, NO_x i O₂ u suhim dimnim plinovima. Pregled izmjerenih, tzv. „sirovih“, vrijednosti paralelnih mjerenja SRM i AMS uređaja dan je u tab. 7 i tab. 8.

AMS uređaj za mjerenje SO₂ nije veličina za koju je propisano kontinuirano mjerenje pa su podaci o izmjerenim vrijednostima SO₂ AMS uređajem prikupljeni su iz procesnog sustava Siemens SPPA-T3000. Izmjerene vrijednosti SO₂ se mogu pregledati putem emisijskog računala EMIDATE, ali ih sustav ne pohranjuje i nisu uključene u sklop izvješćivanja.

Tijekom provedbe paralelnih mjerenja primijećeno je da spojevi sustava za pripremu suhog uzorka dimnih plinova (2-stupanjski hladnjak s pumpom) nisu izvedeni sukladno oznakama proizvođača (na primjer, ulaz uzorka dimnih plinova u 2. stupanj hladnjaka je spojen na njegov izlaz umjesto na ulaz).

Također, analizator Siemens ULTRAMAT 23 je 5. lipnja 2025. zabilježio značajnu vrijednost klizanja (engl. *drift*) od -5,82% što je blizu dozvoljene granice od 6%.

Mjerenja su provedena tijekom dva dana prema rasporedu kojeg je definirao vlasnik postrojenja s obzirom da se od 7. lipnja 2025. očekivao dugotrajan prestanak rada bloka L.

⁹ Pri preračunu mjernog raspona brzine (protoka) uređaja DURAG D-FL 100 na normne uvjete korištena je vrijednost temperature dimnih plinova od 140 °C i vrijednost volumnog sadržaja vlage u dimnim plinovima od 7 %.

Tab. 7: Emisije iz mjernog presjeka ispusta plinske turbine PT1 izmjerene SRM uređajima

| SRM (PT1) | ϑ | $O_{2\text{ wet}}$ | Q | p | O_2 | CO | NO_x kao NO | SO_2 |
|--------------|-------------|--------------------|---------------|-----|-------|-----------------|--------------------|-----------------|
| | °C | %vdp | m_n^3 vdp/h | hPa | %sdp | mg/ m_n^3 sdp | mg/ m_n^3 sdp | mg/ m_n^3 sdp |
| M1 | 131 | 14,32 | 307 001 | 995 | 15,42 | 0,7 | 14,3 | 1,1 |
| M2 | 131 | 14,35 | 307 007 | 995 | 15,46 | 0,6 | 14,3 | 1,2 |
| M3 | 131 | 14,37 | 305 348 | 995 | 15,47 | 0,7 | 14,2 | 1,4 |
| M4 | 130 | 14,37 | 306 119 | 995 | 15,47 | 0,9 | 14,2 | 1,5 |
| M5 | 130 | 14,35 | 306 121 | 995 | 15,44 | 0,9 | 14,2 | 1,4 |
| M6 | 137 | 14,20 | 404 448 | 992 | 15,32 | 0,9 | 11,2 | 1,2 |
| M7 | 137 | 14,24 | 406 044 | 992 | 15,35 | 1,0 | 11,6 | 1,2 |
| M8 | 137 | 14,28 | 405 975 | 992 | 15,37 | 1,1 | 11,6 | 1,2 |
| M9 | 137 | 14,24 | 406 032 | 992 | 15,34 | 1,0 | 11,7 | 1,1 |
| M10 | 137 | 14,19 | 401 238 | 992 | 15,30 | 1,0 | 11,6 | 1,3 |
| M11 | 139 | 14,37 | 462 387 | 993 | 15,47 | 1,1 | 13,2 | 1,8 |
| M12 | 139 | 14,32 | 462 488 | 993 | 15,43 | 1,0 | 14,0 | 1,7 |
| M13 | 139 | 14,42 | 462 332 | 993 | 15,50 | 0,9 | 13,9 | 1,6 |
| M14 | 139 | 14,48 | 460 649 | 993 | 15,54 | 0,9 | 14,2 | 1,6 |
| M15 | 138 | 14,48 | 456 850 | 993 | 15,52 | 0,9 | 14,4 | 1,7 |

Tab. 8: Emisije iz mjernog presjeka ispusta plinske turbine PT1 izmjerene AMS uređajima

| AMS (PT1) | ϑ | $O_{2\text{ wet}}$ | Q | p | O_2 | CO | NO_x kao NO | SO_2 |
|--------------|-------------|--------------------|---------------|-----|-------|-----------------|--------------------|-----------------|
| | °C | %vdp | m_n^3 vdp/h | hPa | %sdp | mg/ m_n^3 sdp | mg/ m_n^3 sdp | mg/ m_n^3 sdp |
| M1 | 129 | 12,91 | 301 472 | 992 | 15,25 | 1,2 | 14,8 | 0,3 |
| M2 | 128 | 12,87 | 301 951 | 992 | 15,31 | 1,1 | 10,8 | 0,3 |
| M3 | 128 | 12,91 | 302 378 | 992 | 15,33 | 1,2 | 10,7 | 0,3 |
| M4 | 128 | 12,96 | 302 803 | 991 | 15,34 | 1,5 | 11,2 | 0,2 |
| M5 | 128 | 12,88 | 302 982 | 991 | 15,37 | 2,1 | 15,1 | 0,3 |
| M6 | 134 | 12,41 | 388 833 | 991 | 15,28 | 2,2 | 11,6 | 0,5 |
| M7 | 135 | 12,36 | 389 527 | 991 | 15,33 | 2,2 | 12,2 | 0,4 |
| M8 | 135 | 12,39 | 389 780 | 990 | 15,35 | 2,2 | 10,7 | 0,3 |
| M9 | 135 | 12,38 | 389 178 | 990 | 15,30 | 2,0 | 9,2 | 0,5 |
| M10 | 135 | 12,34 | 388 582 | 990 | 15,28 | 2,0 | 9,0 | 0,5 |
| M11 | 136 | 12,13 | 426 380 | 992 | 15,62 | 0,4 | 10,9 | 0,3 |
| M12 | 136 | 12,01 | 431 247 | 992 | 15,63 | 0,6 | 9,8 | 0,3 |
| M13 | 136 | 12,12 | 427 421 | 992 | 15,71 | 0,5 | 9,7 | 0,2 |
| M14 | 136 | 12,40 | 424 621 | 992 | 15,74 | 0,7 | 9,7 | 0,4 |
| M15 | 135 | 12,66 | 423 826 | 992 | 15,72 | 1,1 | 10,5 | 0,4 |

Pregled vrijednosti paralelnih mjerenja SRM i AMS uređaja svedenih na referentne (GVE) uvjete (volumen suhih plinova kod referentnog O_2 od 15 % pri 0 °C i 1013,25 hPa) potrebne za testove varijabilnosti dan je u tab. 9 i tab. 10. Kako pomoćne veličine (p , 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 ispusta plinske turbine PT1 mjerene SRM uređajima svedene na referentne uvjete

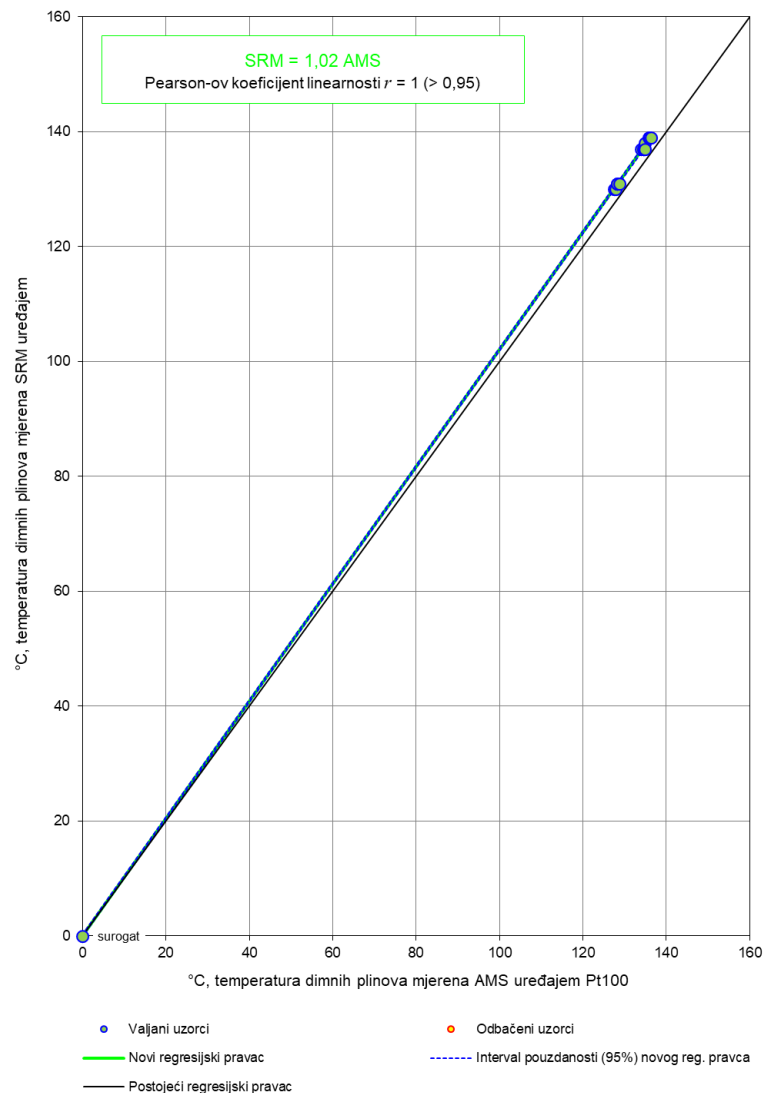
| SRM (PT1) | CO | NO _x | SO ₂ |
|--------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | mg/m ³ _{ref} | mg/m ³ _{ref} | mg/m ³ _{ref} |
| M1 | 0,7 | 23,5 | 1,2 |
| M2 | 0,6 | 23,7 | 1,2 |
| M3 | 0,8 | 23,6 | 1,5 |
| M4 | 1,0 | 23,6 | 1,6 |
| M5 | 1,0 | 23,4 | 1,5 |
| M6 | 1,0 | 18,2 | 1,3 |
| M7 | 1,0 | 18,8 | 1,3 |
| M8 | 1,1 | 18,9 | 1,3 |
| M9 | 1,1 | 19,0 | 1,2 |
| M10 | 1,0 | 18,7 | 1,3 |
| M11 | 1,2 | 22,0 | 1,9 |
| M12 | 1,1 | 23,0 | 1,8 |
| M13 | 1,0 | 23,2 | 1,8 |
| M14 | 1,0 | 23,8 | 1,8 |
| M15 | 1,0 | 24,2 | 1,8 |

Tab. 10: Emisije iz ispusta plinske turbine PT1 mjerene AMS uređajima svedene na referentne uvjete

| AMS (PT1) | CO | NO _x | SO ₂ |
|--------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | mg/m ³ _{ref} | mg/m ³ _{ref} | mg/m ³ _{ref} |
| M1 | 1,2 | 23,6 | - |
| M2 | 1,2 | 17,4 | - |
| M3 | 1,2 | 17,3 | - |
| M4 | 1,6 | 18,2 | - |
| M5 | 2,3 | 24,7 | - |
| M6 | 2,3 | 18,6 | - |
| M7 | 2,4 | 19,9 | - |
| M8 | 2,3 | 17,4 | - |
| M9 | 2,2 | 14,8 | - |
| M10 | 2,1 | 14,5 | - |
| M11 | 0,5 | 18,6 | - |
| M12 | 0,6 | 16,7 | - |
| M13 | 0,6 | 16,8 | - |
| M14 | 0,8 | 17,0 | - |
| M15 | 1,2 | 18,4 | - |

3.1.1. Mjerenje temperature uređajem Siemens SITRANS TS500

Na sl. 8 je prikazan postojeći i novi regresijski pravac određen na temelju rezultata petnaest (M1-M15) valjanih paralelnih mjerenja i jedne dodatne, tzv. surogat točke.



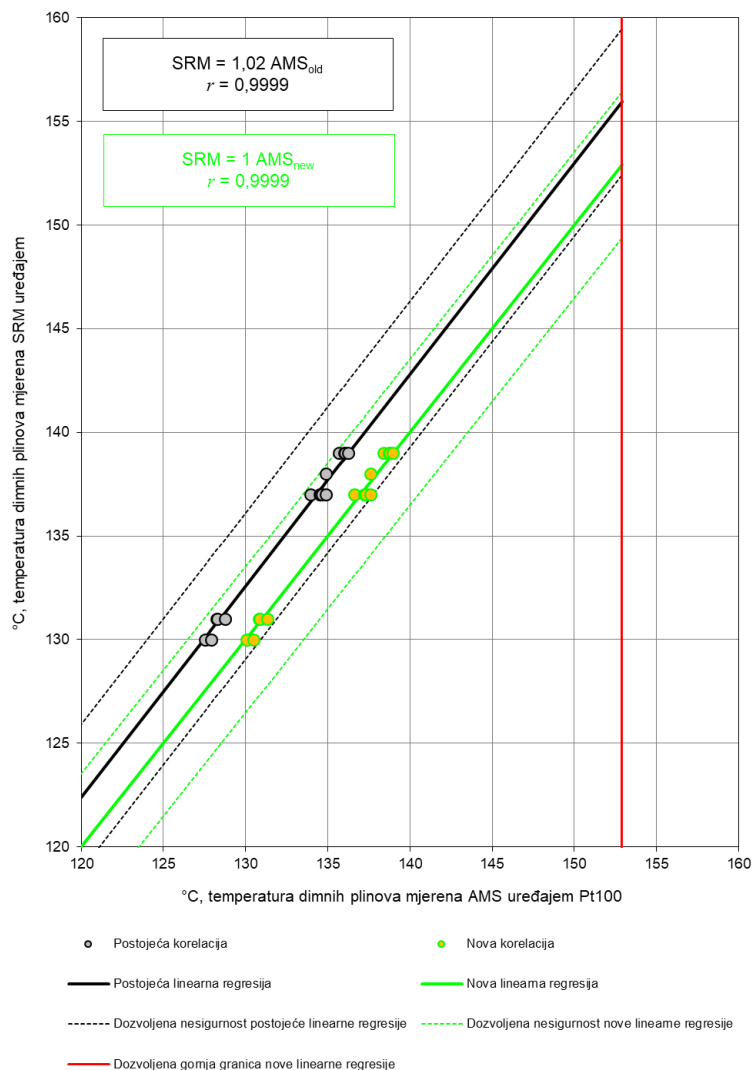
Sl. 8: Odnos postojećeg i novog regresijskog pravca AMS uređaja Siemens SITRANS TS500 za mjerenje temperature

Oba regresijska pravca prolaze kroz nultu točku ($min_{old} = min_{new} = 0 \text{ °C}$). Kako postojeći regresijski pravac ne leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca, razmotreno je usvajanje novog regresijskog pravca ($AMS_{new} = 1,02 \cdot AMS_{old}$) kako je prikazano na sl. 9. Uzimajući u obzir mjernu nesigurnost postojeće i nove linearne regresije ($\sigma_0 = \pm 3,52 \text{ °C}$), može se vidjeti da postojeći regresijski pravac u potpunosti leži unutar granica mjerne nesigurnosti novog pravca. Prema tome, postojeći regresijski pravac se može zadržati te stoga vrijedi:

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

$$max_{new} = max_{old} = 400 \text{ °C}.$$

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



Sl. 9: Dozvoljena mjerna nesigurnost postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja Siemens SITRANS TS500 za mjerenje temperature

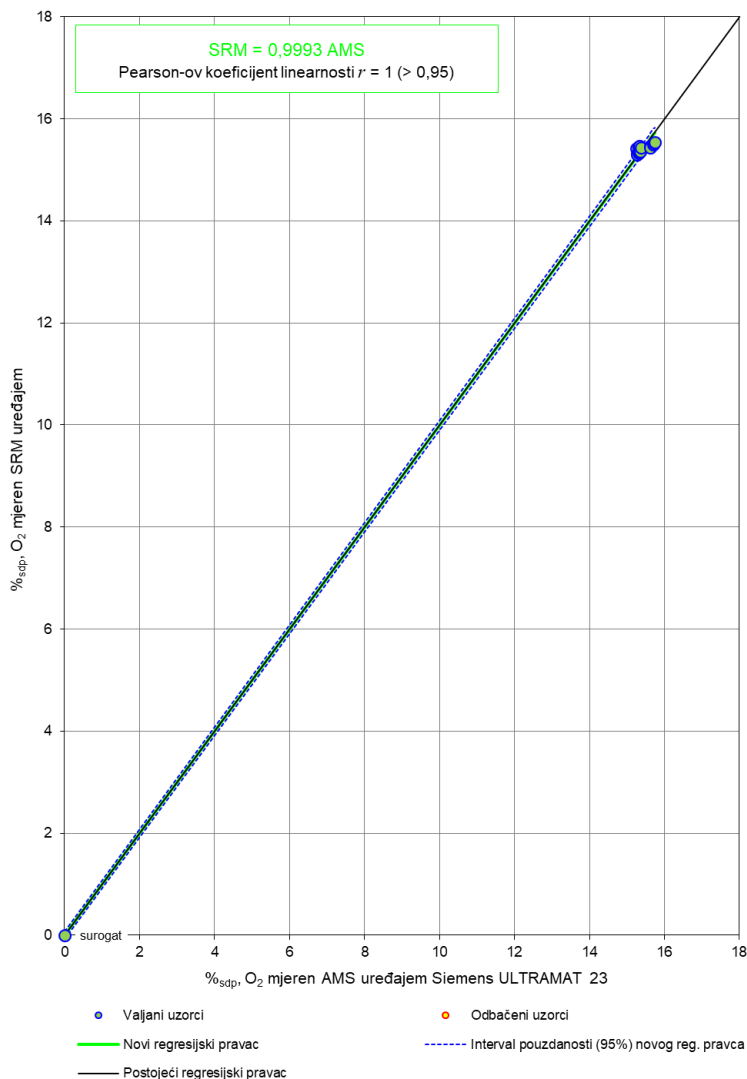
Tab. 11: Test varijabilnosti postojeće linearne regresije AMS uređaja Siemens SITRANS TS500 za mjerenje temperature

| AMS _{new} = a + b · AMS _{old} | | | | | | QAL2 test varijabilnosti | | | |
|---|--------------------|----|---|--------------------|--------------------|-------------------------------|----------------|----------------|---------------------------------|
| AMS _i = min _i + $\frac{max_i - min_i}{16 \text{ mA}} \cdot (x - 4 \text{ mA})$; i ∈ {old, new} | | | | | | $s_D \leq \sigma_0 \cdot k_v$ | | | |
| min _{old} | max _{old} | a | b | min _{new} | max _{new} | s _D | σ ₀ | k _v | σ ₀ · k _v |
| °C | °C | °C | - | °C | °C | 0,38 | 3,52 | 0,98 | 3,44 |
| 0 | 400 | 0 | 1 | 0 | 400 | Zadovoljava | | | |

Kao što se vidi iz tab. 11, postojeća linearna regresija AMS uređaja Siemens SITRANS TS500 za mjerenje temperature uspješno prolazi test varijabilnosti. Postojeći regresijski pravac ($min_{new} = min_{old} = 0 \text{ °C}$, $max_{new} = max_{old} = 400 \text{ °C}$) se može zadržati i valjan je u rasponu od 0 °C do 153 °C.

3.1.2. Mjerenje O₂ uređajem Siemens ULTRAMAT 23

Na sl. 10 je prikazan postojeći i novi regresijski pravac određen na temelju rezultata petnaest (M1-M15) valjanih paralelnih mjerenja i jedne dodatne, tzv. surogat točke.



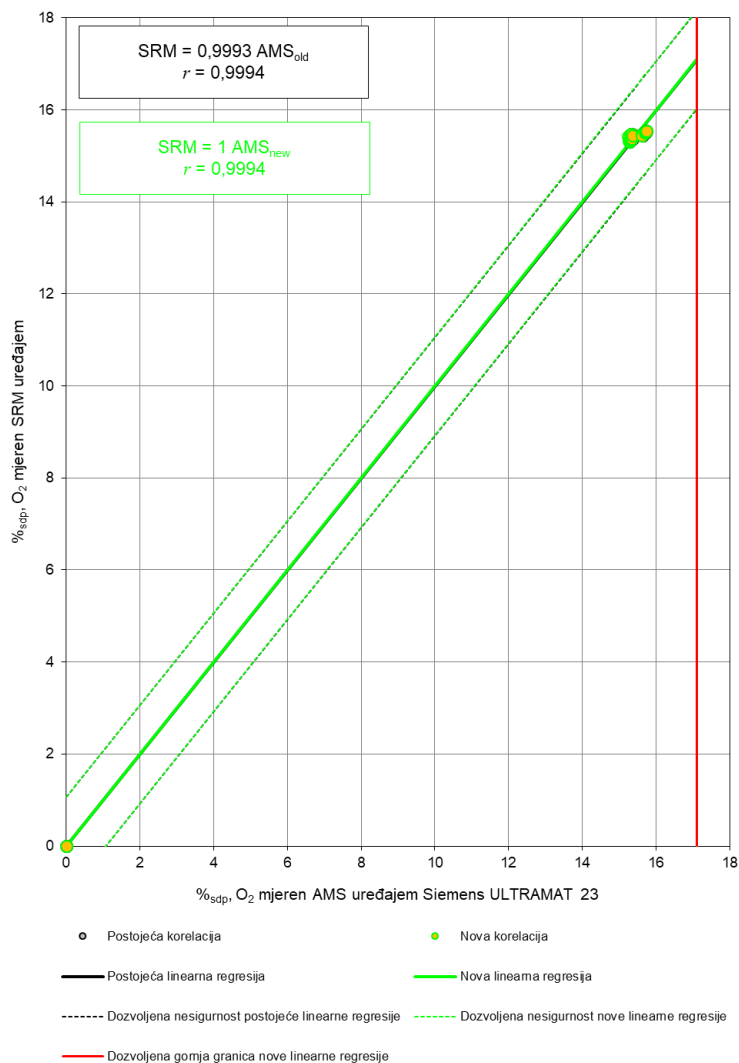
Sl. 10: Odnos postojećeg i novog regresijskog pravca AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje O₂ u suhim dimnim plinovima

Oba regresijska pravca prolaze kroz nultu točku ($min_{old} = min_{new} = 0 \text{ \%}_{sdp}$). Kako postojeći regresijski pravac leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca ($AMS_{new} = 0,9993 \cdot AMS_{old}$), zadržavaju se postojeći koeficijenti:

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

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

Mjerna nesigurnost ($\sigma_0 = \pm 1,07 \text{ \%}_{sdp}$) postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja za mjerenje O₂ u suhim dimnim plinovima prikazana je na sl. 11. U tab. 12 su dani rezultati testa varijabilnosti postojeće linearne regresije.



Sl. 11: Dozvoljena mjerna nesigurnost postojeće i nove linearne regresije Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje O₂ u suhim dimnim plinovima

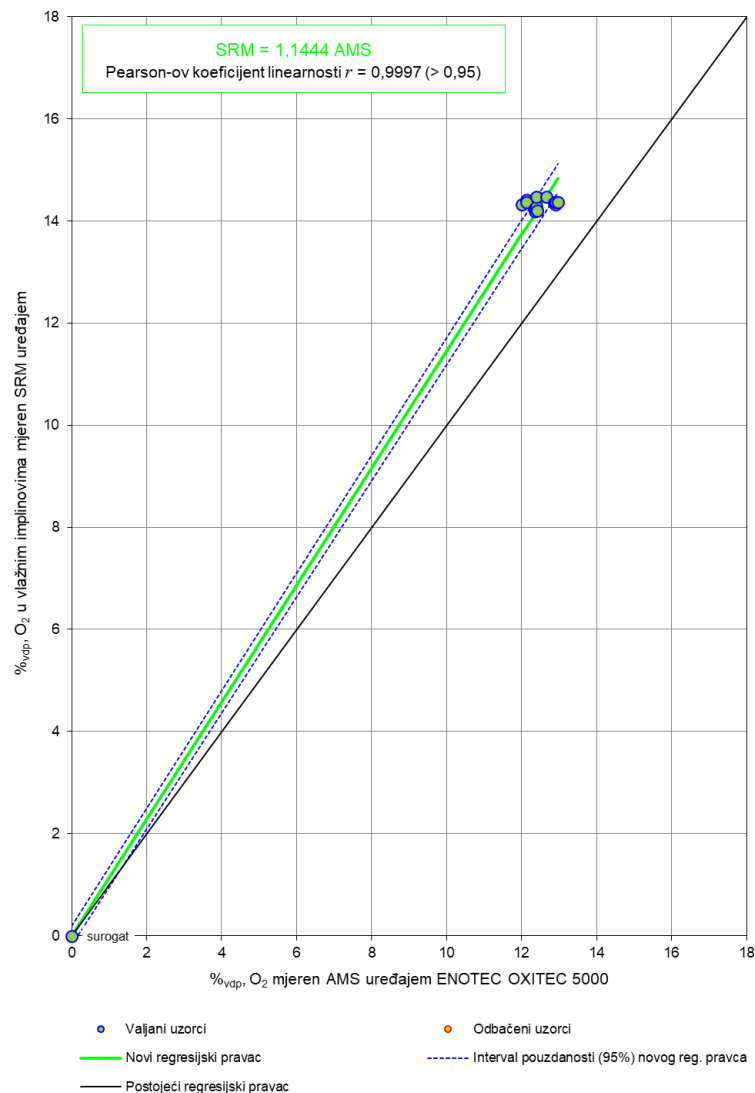
Tab. 12: Test varijabilnosti postojeće linearne regresije AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje O₂ u suhim dimnim plinovima

| AMS _{new} = a + b · AMS _{old} | | | | | | QAL2 test varijabilnosti | | | |
|--|--------------------|------|---|--------------------|--------------------|-------------------------------|----------------|----------------|---------------------------------|
| AMS _i = min _i + $\frac{max_i - min_i}{16 \text{ mA}}$ · (x - 4 mA); i ∈ {old, new} | | | | | | $s_D \leq \sigma_0 \cdot k_v$ | | | |
| min _{old} | max _{old} | a | b | min _{new} | max _{new} | s _D | σ ₀ | k _v | σ ₀ · k _v |
| %sdp | %sdp | %sdp | - | %sdp | %sdp | 0,14 | 1,07 | 0,98 | 1,05 |
| 0 | 25 | 0 | 1 | 0 | 25 | Zadovoljava | | | |

Kao što se vidi iz tab. 12, postojeća linearna regresija AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje O₂ u suhim dimnim plinovima uspješno prolazi test varijabilnosti. Postojeći regresijski pravac (min_{new} = min_{old} = 0 %sdp, max_{new} = max_{old} = 25 %sdp) se može zadržati i valjan je u rasponu od 0 %sdp do 17,1 %sdp.

3.1.3. Mjerenje O₂ uređajem ENOTEC OXITEC 5000

Na sl. 12 je prikazan postojeći i novi regresijski pravac određen na temelju rezultata petnaest (M1-M15) valjanih paralelnih mjerenja i jedne dodatne, tzv. surogat točke.



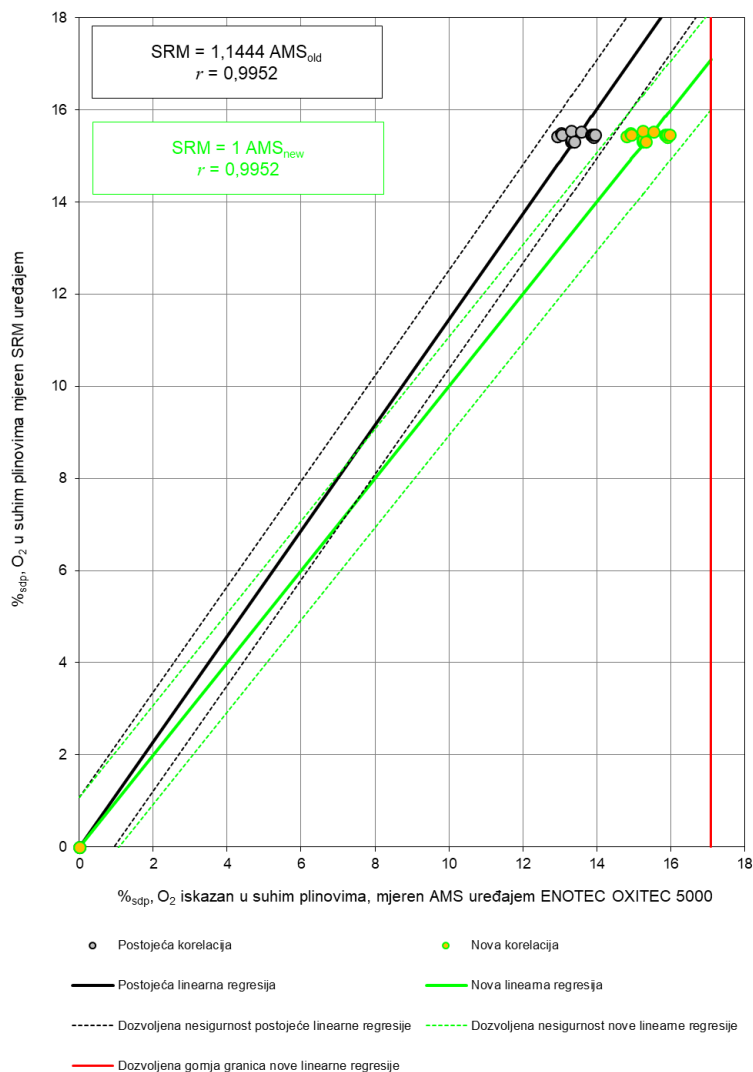
Sl. 12: Odnos postojećeg i novog regresijskog pravca AMS uređaja ENOTEC OXITEC 5000 za mjerenje O₂ u vlažnim dimnim plinovima

Oba regresijska pravca prolaze kroz nultu točku ($min_{old} = min_{new} = 0 \text{ \%vdp}$). Kako postojeći regresijski pravac ne leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca usvajamo novi regresijski pravac ($AMS_{new} = 1,1444 \cdot AMS_{old}$). Stoga se u emisijsko računalo moraju unijeti novi koeficijenti:

$$min_{new} = a + b \cdot min_{old} = 0 \text{ \%vdp} + 1,1444 \cdot 0 \text{ \%vdp} = 0 \text{ \%vdp},$$

$$max_{new} = a + b \cdot max_{old} = 0 \text{ \%vdp} + 1,1444 \cdot 21 \text{ \%vdp} = 24,032 \text{ \%vdp}.$$

Mjerna nesigurnost ($\sigma_0 = \pm 1,07 \text{ \%vdp}$) postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja ENOTEC OXITEC 5000 prikazana je na sl. 13. Kod svođenja O₂ vrijednosti mjerenih SETNAG-om na referentne uvjete korištene su vrijednosti H₂O određene temeljem kontrolnog izračuna. U tab. 13 su dani rezultati testa varijabilnosti nove linearne regresije.



Sl. 13: Dozvoljena mjerna nesigurnost postojeće i nove linearne regresije ENOTEC OXITEC 5000 za mjerenje O₂ u suhim dimnim plinovima

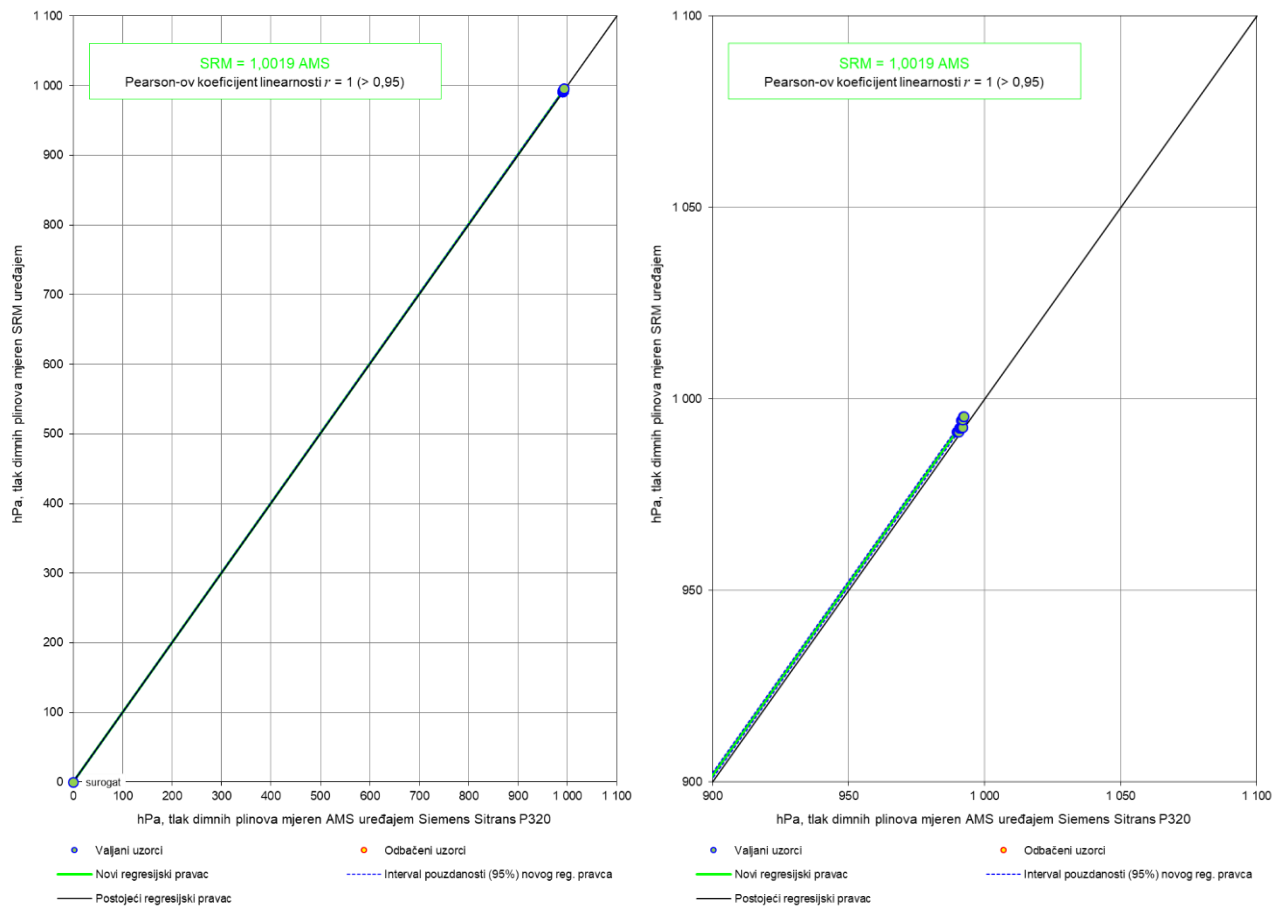
Tab. 13: Test varijabilnosti nove linearne regresije AMS uređaja ENOTEC OXITEC 5000 za mjerenje O₂ u vlažnim dimnim plinovima

| AMS _{new} = a + b · AMS _{old} | | | | | | QAL2 test varijabilnosti | | | |
|--|--------------------|------------------|--------|--------------------|--------------------|--|----------------|----------------|---------------------------------|
| AMS _i = min _i + $\frac{max_i - min_i}{16 \text{ mA}}$ · (x - 4 mA); i ∈ {old, new} | | | | | | s _D ≤ σ ₀ · k _v | | | |
| min _{old} | max _{old} | a | b | min _{new} | max _{new} | s _D | σ ₀ | k _v | σ ₀ · k _v |
| % _{vdp} | % _{vdp} | % _{vdp} | - | % _{vdp} | % _{vdp} | 0,39 | 1,07 | 0,98 | 1,05 |
| 0 | 21 | 0 | 1,1444 | 0 | 24,032 | Zadovoljava | | | |

Kao što se vidi iz tab. 13, nova linearna regresija AMS uređaja ENOTEC OXITEC 5000 za mjerenje O₂ u vlažnim dimnim plinovima uspješno prolazi test varijabilnosti. Novi regresijski pravac (min_{new} = min_{old} = 0 %_{vdp}, max_{new} = 24,032 %_{vdp}) je valjan je u rasponu od 0 %_{sdp} do 17,1 %_{sdp}.

3.1.4. Mjerenje tlaka uređajem Siemens Sitrans P320

Na sl. 14 je prikazan postojeći i novi regresijski pravac određen na temelju rezultata petnaest (M1-M15) valjanih paralelnih mjerenja i jedne dodatne, tzv. surogat točke.



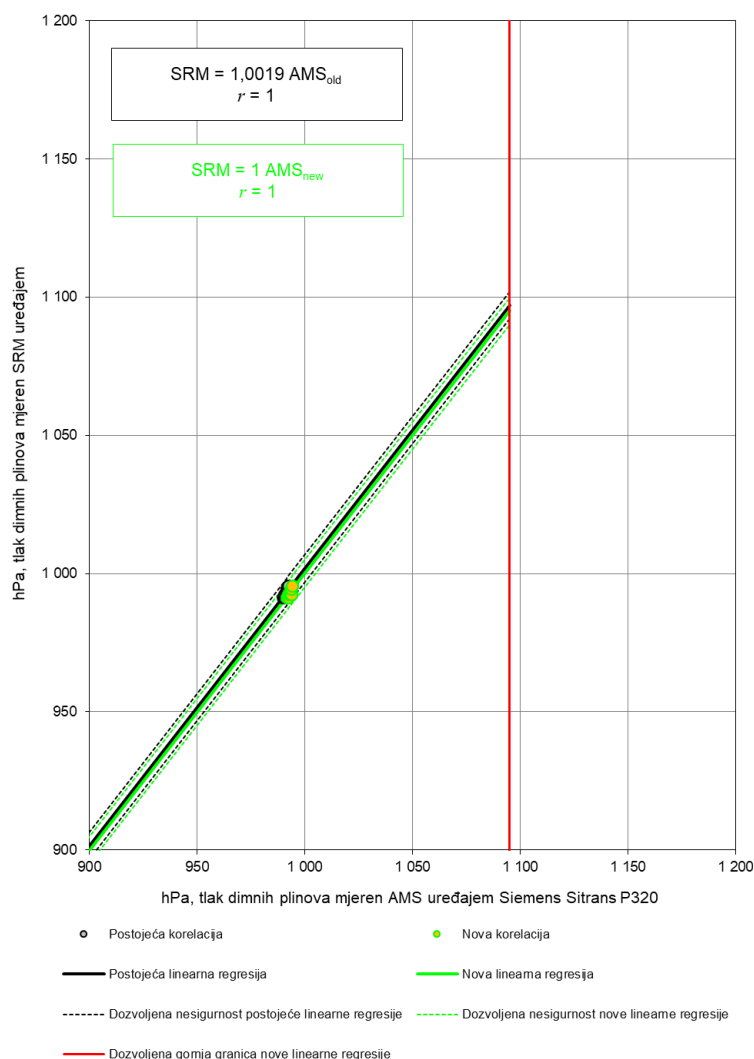
Sl. 14: Odnos postojećeg i novog regresijskog pravca AMS uređaja Siemens Sitrans P320 za mjerenje tlaka

Oba regresijska pravca prolaze kroz nultu točku ($min_{old} = min_{new} = 0$ hPa). Kako postojeći regresijski pravac ne leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca, razmotreno je usvajanje novog regresijskog pravca ($AMS_{new} = 1,0019 \cdot AMS_{old}$) kako je prikazano na sl. 15. Uzimajući u obzir mjernu nesigurnost postojeće i nove linearne regresije ($\sigma_0 = \pm 4,90$ hPa), može se vidjeti da postojeći regresijski pravac u potpunosti leži unutar granica mjerne nesigurnosti novog pravca. Prema tome, postojeći regresijski pravac se može zadržati te stoga vrijedi:

$$min_{new} = min_{old} = 43 \text{ hPa,}$$

$$max_{new} = max_{old} = 1\,300 \text{ hPa.}$$

Rezultati testa varijabilnosti postojeće linearne regresije dani su u tab. 14.



Sl. 15: Dozvoljena mjerna nesigurnost postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja Siemens Sitrans P320 za mjerenje tlaka

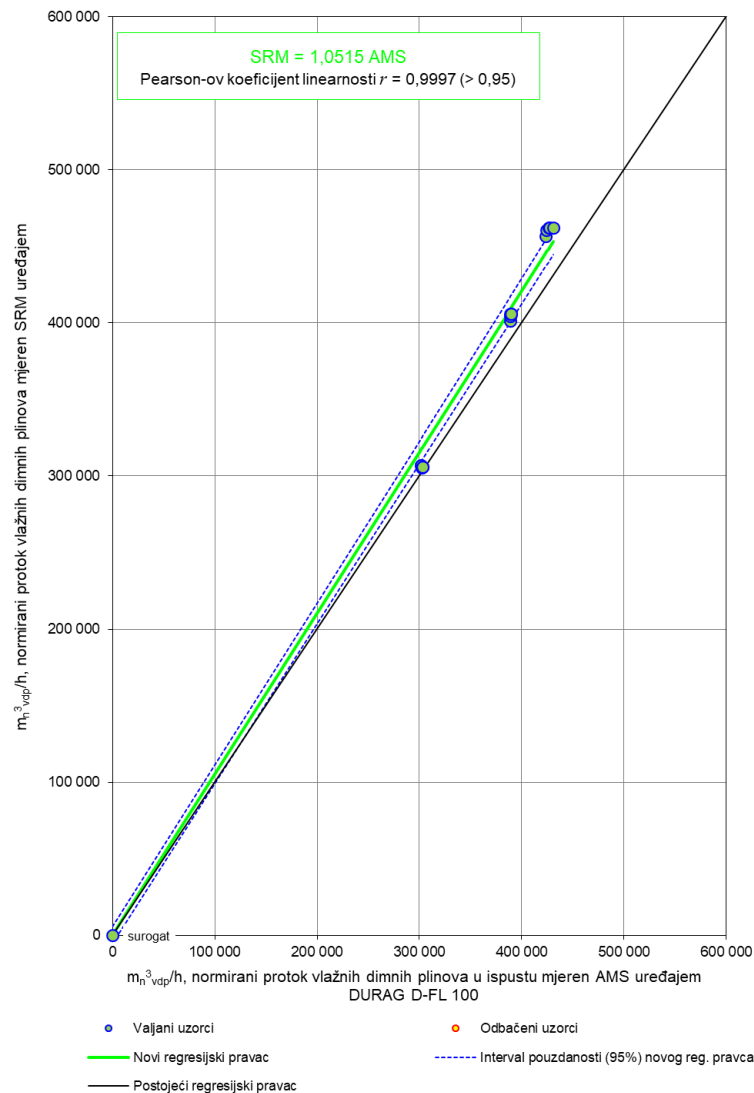
Tab. 14: Test varijabilnosti postojeće linearne regresije AMS uređaja Siemens Sitrans P320 za mjerenje tlaka

| AMS _{new} = a + b · AMS _{old} | | | | | | QAL2 test varijabilnosti | | | |
|---|--------------------|-----|---|--------------------|--------------------|-------------------------------|----------------|----------------|---------------------------------|
| AMS _i = min _i + $\frac{max_i - min_i}{16 \text{ mA}} \cdot (x - 4 \text{ mA})$; i ∈ {old, new} | | | | | | $s_D \leq \sigma_0 \cdot k_v$ | | | |
| min _{old} | max _{old} | a | b | min _{new} | max _{new} | s _D | σ ₀ | k _v | σ ₀ · k _v |
| hPa | hPa | hPa | - | hPa | hPa | 0,98 | 4,90 | 0,98 | 4,78 |
| 43 | 1 300 | 0 | 1 | 43 | 1 300 | Zadovoljava | | | |

Kao što se vidi iz tab. 14, postojeća linearna regresija AMS uređaja Siemens Sitrans P320 za mjerenje tlaka uspješno prolazi test varijabilnosti. Postojeći regresijski pravac ($min_{new} = min_{old} = 43$ hPa, $max_{new} = max_{old} = 1\,300$ hPa) se može zadržati i valjan je u cijelom mjernom rasponu (od 43 hPa do 1 300 hPa).

3.1.5. Mjerenje protoka uređajem DURAG D-FL 100

Na sl. 16 je prikazan postojeći i novi regresijski pravac određen na temelju rezultata petnaest (M1-M15) valjanih paralelnih mjerenja i jedne dodatne, tzv. surogat točke.



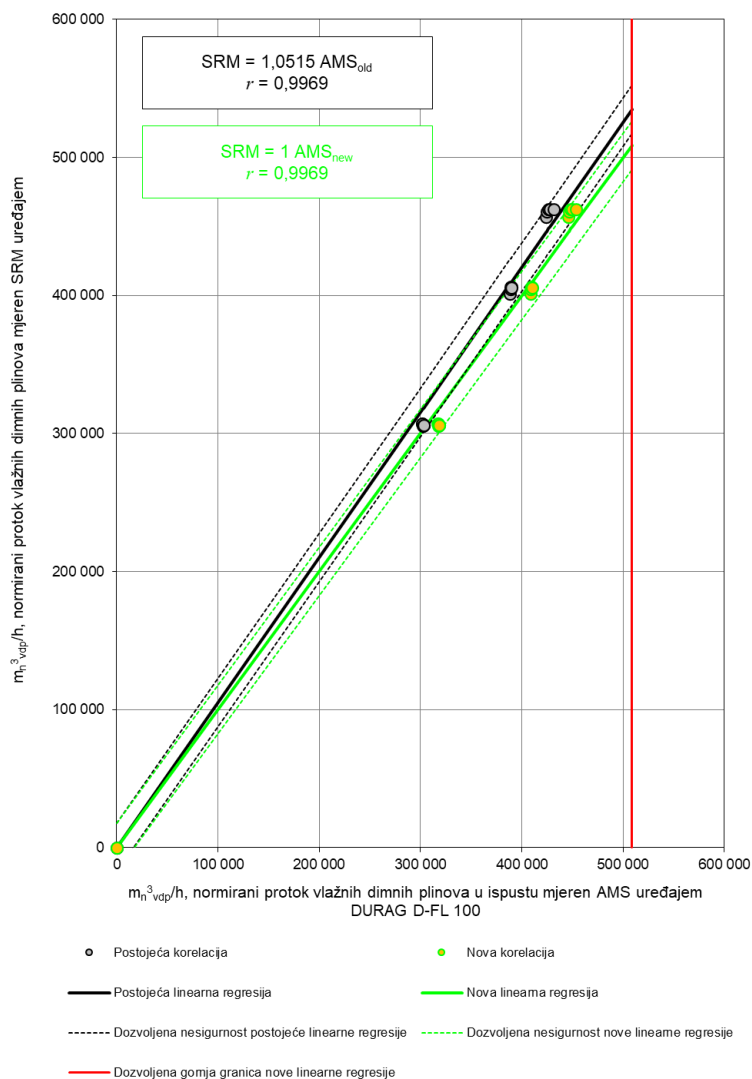
Sl. 16: Odnos postojećeg i novog regresijskog pravca AMS uređaja DURAG D-FL 100 za mjerenje protoka dimnih plinova

Oba regresijska pravca prolaze kroz nultu točku ($a_{0_{old}} = a_{0_{new}} = 0 \text{ m}_n^3 \text{ vdp/h}$). Kako postojeći regresijski pravac ne leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca usvajamo novi regresijski pravac ($AMS_{new} = 1,0515 \cdot AMS_{old}$). Stoga se u postavke uređaja moraju unijeti novi koeficijenti:

$$a_{0_{new}} = a + b \cdot a_{0_{old}} = 0 \text{ m}_n^3 \text{ vdp/h} + 1,0515 \cdot 0 \text{ m}_n^3 \text{ vdp/h} = 0 \text{ m}_n^3 \text{ vdp/h},$$

$$a_{1_{new}} = b \cdot a_{1_{old}} = 1,0515 \cdot 1 = 1,0515.$$

Mjerna nesigurnost ($\sigma_0 = \pm 17\,545 \text{ m}_n^3 \text{ vdp/h}$) postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja D-FL 100 za mjerenje protoka dimnih plinova prikazana je na sl. 17. U tab. 15 su dani rezultati testa varijabilnosti nove linearne regresije.



Sl. 17: Dozvoljena mjerna nesigurnost postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja DURAG D-FL 100 za mjerenje protoka dimnih plinova

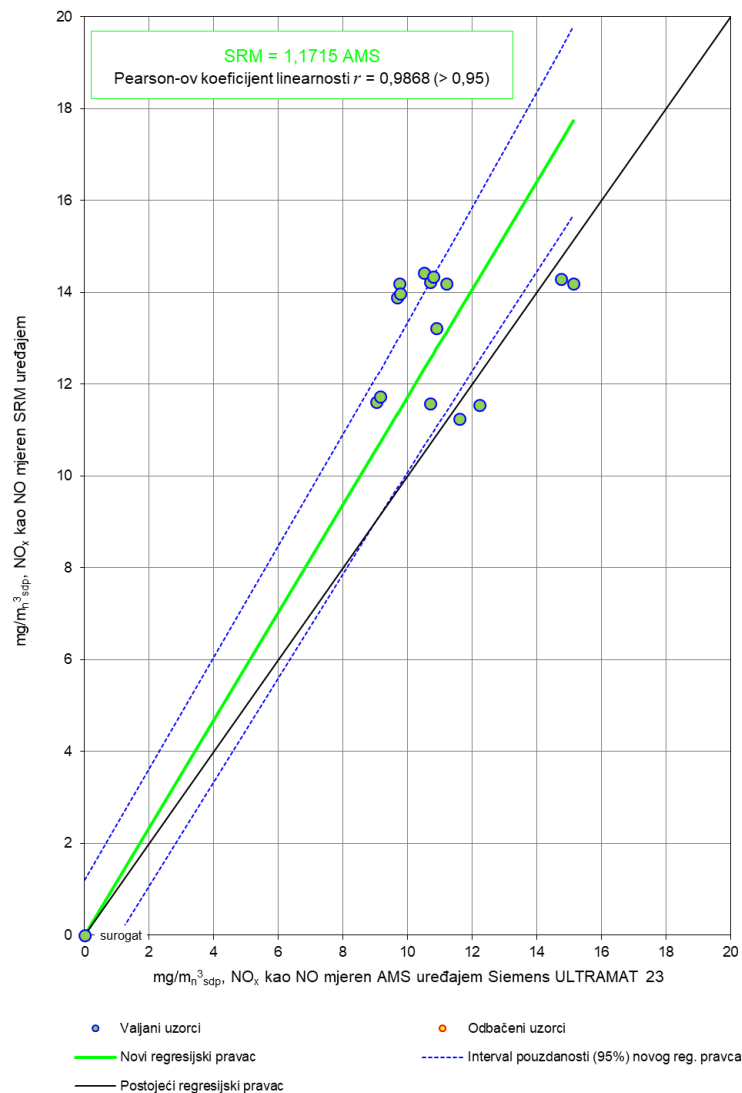
Tab. 15: Test varijabilnosti nove linearne regresije AMS uređaja DURAG D-FL 100 za mjerenje volumnog protoka dimnih plinova

| $AMS_{new} = a + b \cdot AMS_{old}$ $AMS_i = a_{0i} + a_{1i} \cdot Q; i \in \{old, new\}$ | | | | | | 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 | $\sigma_0 \cdot k_v$ |
| $m_n^3_{vdp}/h$ | - | $m_n^3_{vdp}/h$ | - | $m_n^3_{vdp}/h$ | - | 10 467 | 17 545 | 0,98 | 17 126 |
| 0 | 1 | 0 | 1,0515 | 0 | 1,0515 | Zadovoljava | | | |

Kao što se vidi iz tab. 15, nova linearna regresija AMS uređaja DURAG D-FL 100 za mjerenje volumnog protoka dimnih plinova uspješno prolazi test varijabilnosti. Novi regresijski pravac ($a_{0new} = a_{0old} = 0$, $a_{1new} = 1,0515$) je valjan u rasponu od $0 m_n^3_{vdp}/h$ do $508 737 m_n^3_{vdp}/h$.

3.1.6. Mjerenje NO_x uređajem Siemens ULTRAMAT 23

Na sl. 18 je prikazan postojeći i novi regresijski pravac određen na temelju rezultata petnaest (M1-M15) valjanih paralelnih mjerenja i jedne dodatne, tzv. surogat točke.

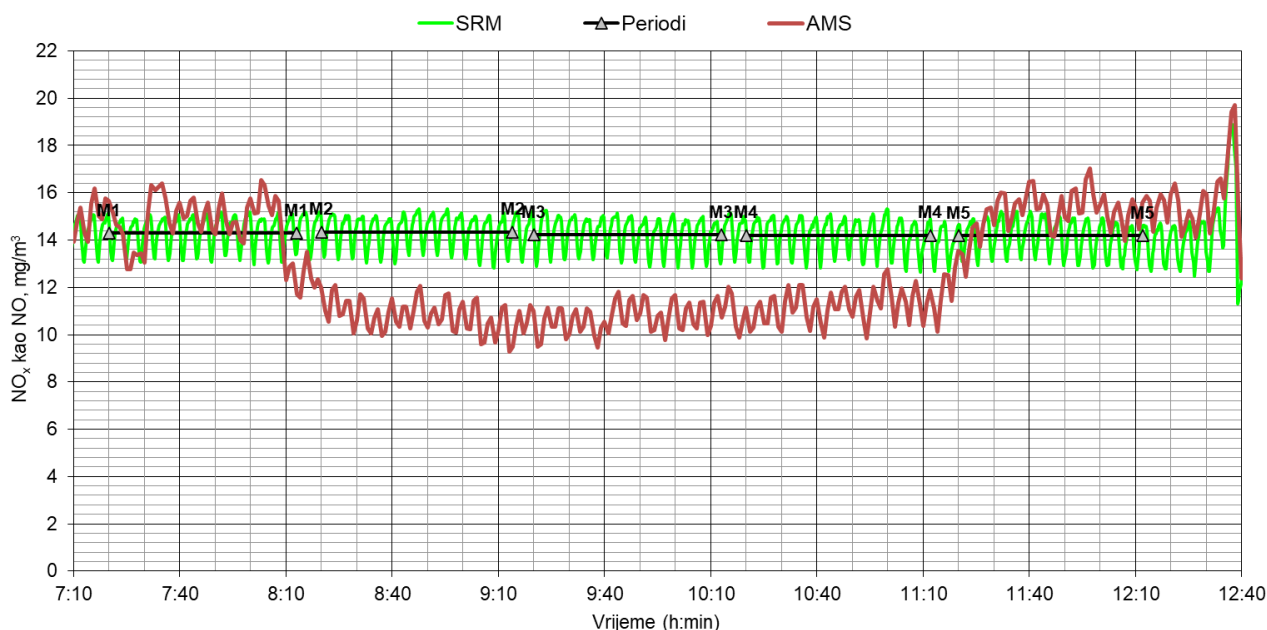


Sl. 18: Odnos postojećeg i novog regresijskog pravca AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje NO_x u suhim dimnim plinovima

Oba regresijska pravca prolaze kroz nultu točku ($\min_{\text{old}} = \min_{\text{new}} = 0 \text{ mg/m}^3_{\text{sdp}}$). Kako postojeći regresijski pravac ne leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca, razmotreno je usvajanje novog regresijskog pravca ($\text{AMS}_{\text{new}} = 1,1715 \cdot \text{AMS}_{\text{old}}$) kako je prikazano na sl. 20. Uzimajući u obzir mjernu nesigurnost postojeće i nove linearne regresije ($\sigma_0 = \pm 5,10 \text{ mg/m}^3_{\text{ref}}$), može se vidjeti da postojeći regresijski pravac granično leži unutar granica mjerne nesigurnosti novog pravca.

Međutim, prema sl. 18 može se uočiti značajno odstupanje podatkovnih parova od regresijskog pravca koje bitno utječe na izračun koeficijenata novog regresijskog pravca prikazanog na sl. 20. Ove devijacije su posljedica nasumičnih pomaka vrijednosti mjerenja AMS uređaja u odnosu na SRM koje su uočene tijekom paralelnih mjerenja, a primjer takve pojave je prikazan na sl. 19. Slika prikazuje period 4. 6. 2025. u kojem je izvršena prva serija od pet paralelnih mjerenja kod istog stacionarnog režima rada plinske turbine. S obzirom na isti režim rada plinske turbine, vrijednosti izmjerene SRM uređajem su konzistentno oscilirale oko gotovo iste srednje vrijednosti. Međutim, vrijednosti izmjerene AMS uređajem su u od približno 8:10 do 11:20 imale neočekivani pomak koji

je nakon toga nestao te su se razlike u odnosu na SRM uređaj vratile na gotovo istu prosječnu vrijednost prije pojave pomaka.



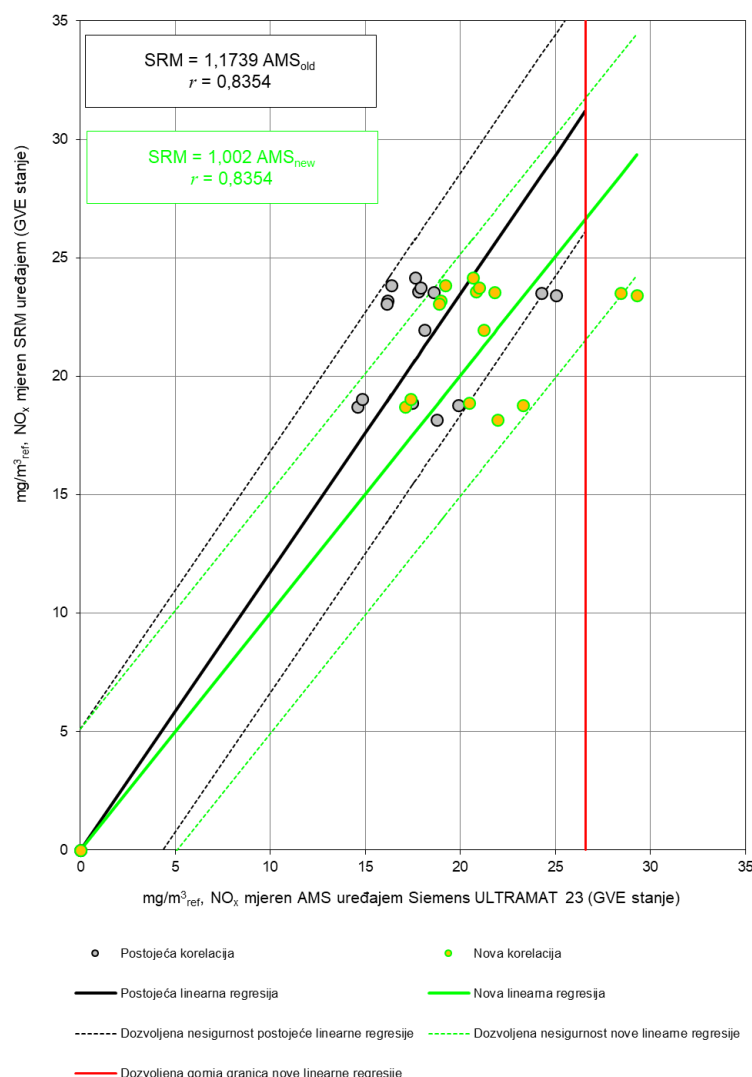
Sl. 19: Trend vrijednosti prve serije od pet paralelnih mjerenja NO_x AMS i SRM uređajem (4. 6. 2025.) kod istog stacionarnog režima rada plinske turbine PT1

Kako pomaci mjerenja AMS uređajem nisu konzistentni (njihova učestalost, trajanje, vrijeme pojavljivanja i slično nemaju odlike sistemske pojave), usvajanje novog regresijskog pravca ($AMS_{\text{new}} = 1,1715 \cdot AMS_{\text{old}}$) nije preporučljivo. Umjesto toga, primarno treba utvrditi i otkloniti razlog pojavljivanja pomaka mjerenja čime bi se značajno poboljšala preciznost i točnost mjerenja AMS uređajem. Do tada, postojeći regresijski pravac se može zadržati te stoga vrijedi:

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

$$\max_{\text{new}} = \max_{\text{old}} = 75 \text{ mg/m}_n^3 \text{ sdp.}$$

Kod svođenja emisije NO_x izmjerenih AMS uređajem Siemens ULTRAMAT 23 na referentne uvjete korištene su vrijednosti O₂ mjerene SRM uređajem. Rezultati testa varijabilnosti postojeće linearne regresije dani su u tab. 16.



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

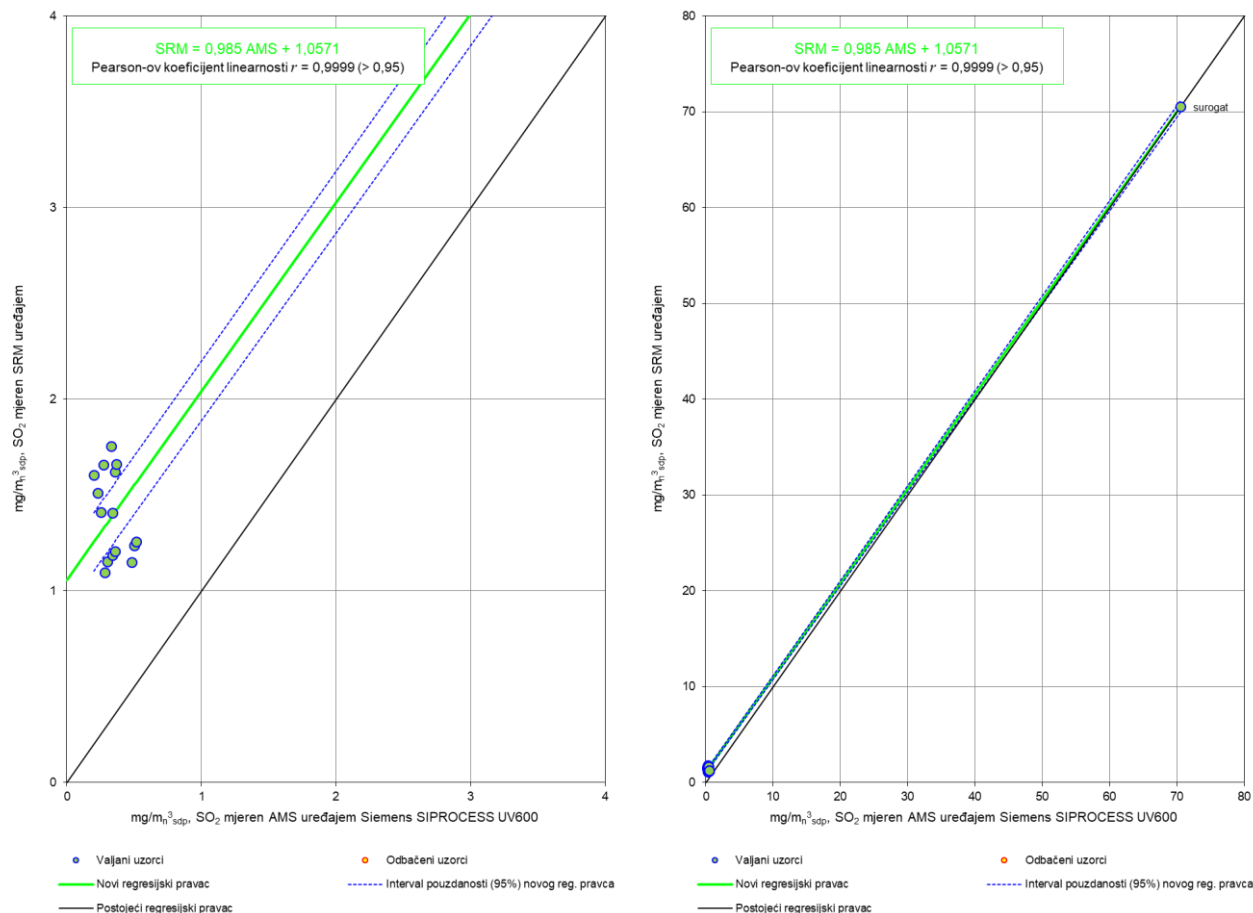
Tab. 16: Test varijabilnosti postojeće linearne regresije AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje NO_x u suhim dimnim plinovima

| AMS _{new} = a + b · AMS _{old} | | | | | | QAL2 test varijabilnosti | | | |
|--|---|---|---|---|---|-------------------------------|----------------|----------------|---------------------------------|
| AMS _i = min _i + $\frac{max_i - min_i}{16 \text{ mA}}$ · (x - 4 mA); i ∈ {old, new} | | | | | | $s_D \leq \sigma_0 \cdot k_v$ | | | |
| min _{old} | max _{old} | a | b | min _{new} | max _{new} | s _D | σ ₀ | k _v | σ ₀ · k _v |
| mg/m _n ³ _{sdp} | mg/m _n ³ _{sdp} | mg/m _n ³ _{sdp} | - | mg/m _n ³ _{sdp} | mg/m _n ³ _{sdp} | 3,26 | 5,10 | 0,98 | 4,98 |
| 0 | 75 | 0 | 1 | 0 | 75 | Zadovoljava | | | |

Kao što se vidi iz tab. 16, postojeća linearna regresija AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje NO_x kao NO u suhim dimnim plinovima uspješno prolazi test varijabilnosti. Postojeći regresijski pravac ($min_{new} = min_{old} = 0 \text{ mg/m}_n^3 \text{ sdp}$, $max_{new} = max_{old} = 75 \text{ mg/m}_n^3 \text{ sdp}$) se može zadržati (valjan je u rasponu od 0 mg/m³_{ref} do 26,6 mg/m³_{ref}.) dok se ne utvrdi i otkloni razlog pojavljivanja stohastičkog pomaka mjerenja.

3.1.7. Mjerenje SO₂ uređajem Siemens SIPROCESS UV600

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.



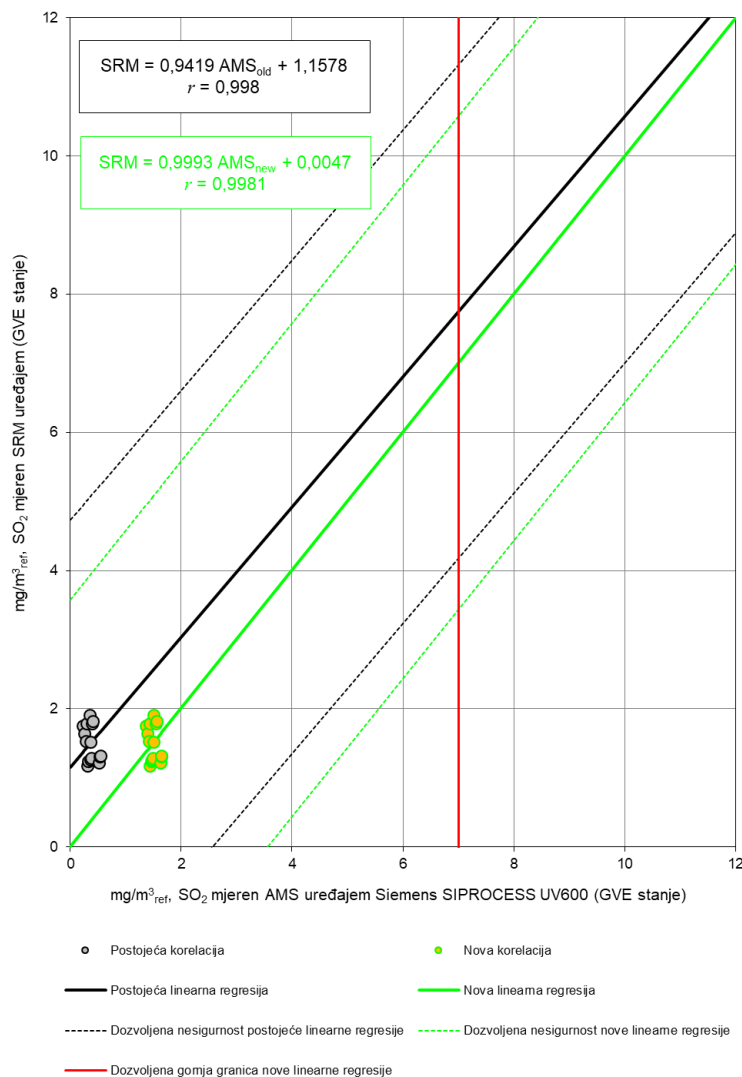
Sl. 21: Odnos postojećeg i novog regresijskog pravca AMS uređaja Siemens SIPROCESS UV600 za mjerenje SO₂ u suhim dimnim plinovima

Kako postojeći regresijski pravac ne leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca, razmotreno je usvajanje novog regresijskog pravca ($AMS_{new} = 0,985 \cdot AMS_{old} + 1,0571$) kako je prikazano na sl. 22. Uzimajući u obzir mjernu nesigurnost postojeće i nove linearne regresije ($\sigma_0 = \pm 3,57 \text{ mg/m}^3_{ref}$), može se vidjeti da postojeći regresijski pravac u potpunosti leži unutar granica mjerne nesigurnosti novog pravca. Prema tome, postojeći regresijski pravac se može zadržati te stoga vrijedi:

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

$$max_{new} = max_{old} = 85 \text{ mg/m}^3_{sdp}.$$

Kod svođenja emisije SO₂ izmjerenih AMS uređajem Siemens SIPROCESS UV600 na referentne uvjete korištene su vrijednosti O₂ mjerene SRM uređajem. Rezultati testa varijabilnosti postojeće linearne regresije dani su u tab. 17.



Sl. 22: Dozvoljena mjerna nesigurnost postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja Siemens SIPROCESS UV600 za mjerenje SO₂ u suhim dimnim plinovima

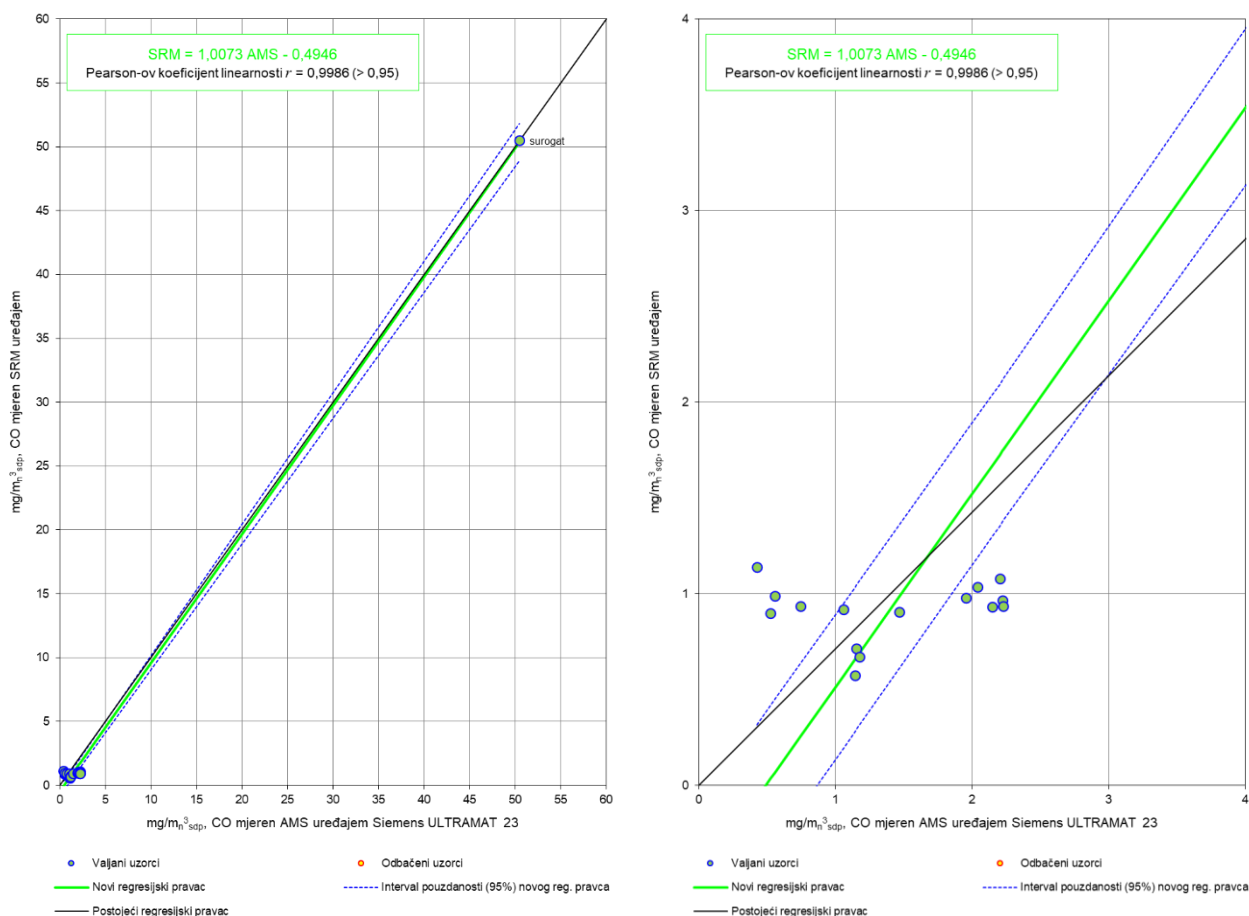
Tab. 17: Test varijabilnosti postojeće linearne regresije AMS uređaja Siemens SIPROCESS UV600 za mjerenje SO₂ u suhim plinovima

| AMS _{new} = a + b · AMS _{old} | | | | | | QAL2 test varijabilnosti | | | |
|--|----------------------------------|----------------------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------|----------------|---------------------------------|
| AMS _i = min _i + $\frac{max_i - min_i}{16 \text{ mA}}$ · (x - 4 mA); i ∈ {old, new} | | | | | | $s_D \leq \sigma_0 \cdot k_v$ | | | |
| min _{old} | max _{old} | a | b | min _{new} | max _{new} | s _D | σ ₀ | k _v | σ ₀ · k _v |
| mg/m ³ _{sdp} | mg/m ³ _{sdp} | mg/m ³ _{sdp} | - | mg/m ³ _{sdp} | mg/m ³ _{sdp} | 0,31 | 3,57 | 0,98 | 3,49 |
| 0 | 85 | 0 | 1 | 0 | 85 | Zadovoljava | | | |

Kao što se vidi iz tab. 17, postojeća linearna regresija AMS uređaja Siemens SIPROCESS UV600 za mjerenje SO₂ u suhim dimnim plinovima uspješno prolazi test varijabilnosti. Postojeći regresijski pravac ($min_{new} = min_{old} = 0 \text{ mg/m}^3_{sdp}$, $max_{new} = max_{old} = 85 \text{ mg/m}^3_{sdp}$) se može zadržati i valjan je u rasponu od 0 mg/m³_{ref} do 7 mg/m³_{ref}.

3.1.8. Mjerenje CO uređajem Siemens ULTRAMAT 23

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.



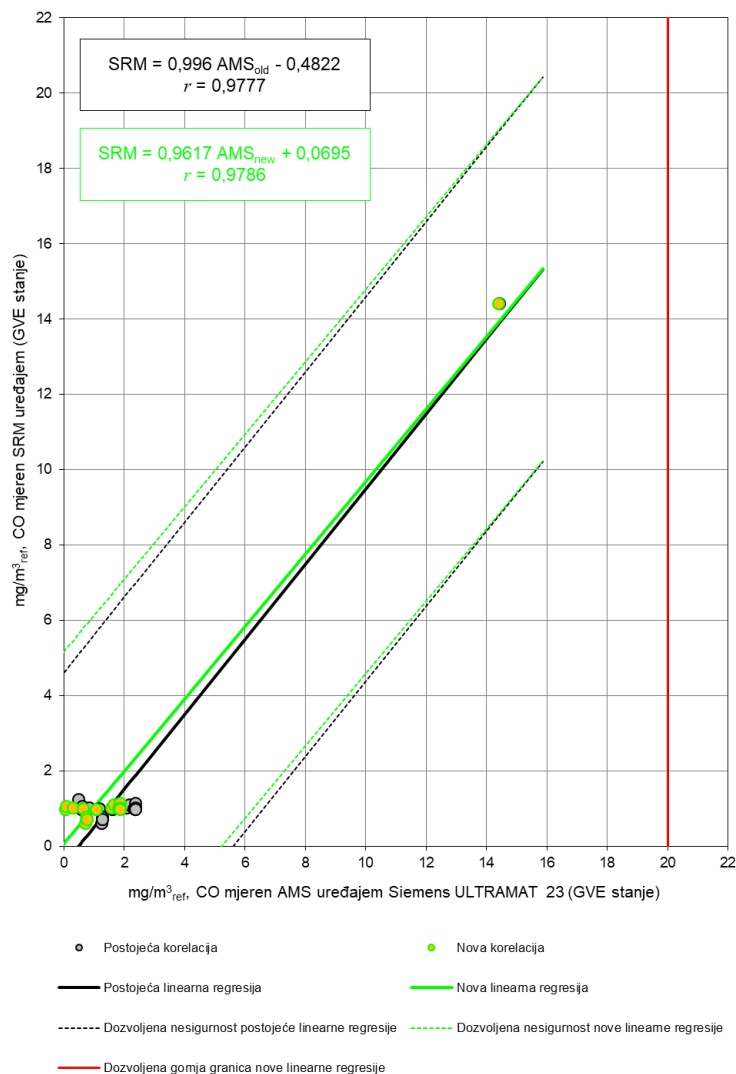
Sl. 23: Odnos postojećeg i novog regresijskog pravca AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje CO u suhim dimnim plinovima

Kako postojeći regresijski pravac ne leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca, razmotreno je usvajanje novog regresijskog pravca ($AMS_{\text{new}} = 1,0073 \cdot AMS_{\text{old}} - 0,4946$) kako je prikazano na sl. 24. Uzimajući u obzir mjernu nesigurnost postojeće i nove linearne regresije ($\sigma_0 = \pm 5,10 \text{ mg/m}^3_{\text{ref}}$), 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 svakih 12 sati vrši kalibracija vanjskim zrakom pri čemu se mijenjaju koeficijenti regresije. Prema tome, vrijedi:

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

$$\max_{\text{new}} = \max_{\text{old}} = 125 \text{ mg/m}^3_{\text{sdp}}.$$

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

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

| $AMS_{new} = a + b \cdot AMS_{old}$ $AMS_i = min_i + \frac{max_i - min_i}{16 \text{ mA}} \cdot (x - 4 \text{ mA}); i \in \{old, new\}$ | | | | | | QAL2 test varijabilnosti | | | |
|---|----------------------------------|----------------------------------|-----|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------|-------|----------------------|
| | | | | | | $s_D \leq \sigma_0 \cdot k_v$ | | | |
| min_{old} | max_{old} | a | b | min_{new} | max_{new} | s_D | σ_0 | k_v | $\sigma_0 \cdot k_v$ |
| mg/m ³ _{sdp} | mg/m ³ _{sdp} | mg/m ³ _{sdp} | - | mg/m ³ _{sdp} | mg/m ³ _{sdp} | 0,72 | 5,10 | 0,98 | 4,98 |
| 0 | 125 | 0 | 1 | 0 | 125 | Zadovoljava | | | |

Kao što se vidi iz tab. 18, postojeća linearna regresija AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje CO u suhim dimnim plinovima uspješno prolazi test varijabilnosti. Postojeći regresijski pravac ($min_{new} = min_{old} = 0 \text{ mg/m}^3_{sdp}$, $max_{new} = max_{old} = 125 \text{ mg/m}^3_{sdp}$) se može zadržati i valjan je u rasponu od 0 mg/m^3_{ref} do 20 mg/m^3_{ref} .

3.2. ISPUST PLINSKE TURBINE PT2

5. i 6. lipnja 2025. godine EKONERG-ov *Laboratorij za mjerenje emisija* je u mjernom presjeku ispusta dimnih plinova kotla na otpadnu toplinu KIP2 plinske turbine PT2 izvršio petnaest paralelnih mjerenja (M1-M15): temperature (ϑ), izračuna volumnog udjela kisika u vlažnim plinovima ($O_{2\text{ wet}}$), protoka dimnih plinova (Q), tlaka (p) 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.

Slični kao i kod AMS-a PT1, tijekom provedbe paralelnih mjerenja primijećeno je da spojevi sustava za pripremu suhog uzorka dimnih plinova (2-stupanjski hladnjak s pumpom) nisu izvedeni sukladno oznakama proizvođača.

Mjerenja su provedena tijekom dva dana prema rasporedu kojeg je definirao vlasnik postrojenja s obzirom da se od 7. lipnja 2025. očekivao dugotrajan prestanak rada bloka L.

Tab. 19: Emisije iz mjernog presjeka ispusta plinske turbine PT2 izmjerene SRM uređajima

| SRM (PT2) | ϑ | $O_{2\text{ wet}}$ | Q | p | O_2 | CO | NO_x kao NO |
|--------------|-------------|--------------------|---------------------------|-----|------------------|----------------------------|----------------------------|
| | °C | % _{vdp} | m_n^3 _{vdp} /h | hPa | % _{sdp} | mg/ m_n^3 _{sdp} | mg/ m_n^3 _{sdp} |
| M1 | 139 | 13,37 | 263 792 | 994 | 14,51 | 0,3 | 17,0 |
| M2 | 132 | 13,35 | 264 827 | 993 | 14,50 | 0,0 | 16,6 |
| M3 | 129 | 13,31 | 260 463 | 994 | 14,45 | 0,1 | 16,7 |
| M4 | 129 | 13,31 | 260 205 | 993 | 14,45 | 0,0 | 16,5 |
| M5 | 129 | 13,28 | 258 581 | 993 | 14,44 | 0,0 | 16,4 |
| M6 | 128 | 12,93 | 345 161 | 996 | 14,12 | 0,5 | 15,9 |
| M7 | 135 | 12,96 | 342 505 | 996 | 14,14 | 0,5 | 15,9 |
| M8 | 136 | 12,98 | 342 017 | 997 | 14,16 | 0,5 | 16,0 |
| M9 | 135 | 12,98 | 344 533 | 997 | 14,17 | 0,5 | 16,1 |
| M10 | 135 | 12,98 | 342 940 | 997 | 14,18 | 0,5 | 16,1 |
| M11 | 136 | 13,03 | 384 213 | 996 | 14,23 | 0,2 | 18,7 |
| M12 | 137 | 13,04 | 380 030 | 996 | 14,24 | 0,1 | 18,7 |
| M13 | 137 | 13,04 | 378 006 | 995 | 14,24 | 0,1 | 18,7 |
| M14 | 137 | 13,05 | 376 348 | 995 | 14,24 | 0,0 | 18,7 |
| M15 | 137 | 13,05 | 375 933 | 994 | 14,22 | 0,1 | 18,9 |

Tab. 20: Emisije iz mjernog presjeka ispusta plinske turbine PT2 izmjerene AMS uređajima

| AMS (PT2) | ϑ | $O_{2\text{ wet}}$ | Q | p | O_2 | CO | NO_x kao NO |
|--------------|-------------|--------------------|---------------------------|-----|------------------|----------------------------|----------------------------|
| | °C | % _{vdp} | m_n^3 _{vdp} /h | hPa | % _{sdp} | mg/ m_n^3 _{sdp} | mg/ m_n^3 _{sdp} |
| M1 | 141 | 13,98 | 312 894 | 995 | 14,74 | 0,8 | 18,1 |
| M2 | 132 | 13,60 | 312 214 | 994 | 14,74 | 0,1 | 16,3 |
| M3 | 129 | 13,58 | 312 202 | 993 | 14,73 | -0,2 | 15,3 |
| M4 | 129 | 13,55 | 312 022 | 993 | 14,72 | -0,1 | 16,0 |
| M5 | 130 | 13,54 | 311 896 | 992 | 14,71 | 0,2 | 16,9 |
| M6 | 132 | 13,05 | 388 147 | 993 | 13,96 | 1,1 | 17,2 |
| M7 | 135 | 13,07 | 389 525 | 994 | 14,00 | 1,1 | 17,4 |
| M8 | 134 | 13,13 | 390 550 | 994 | 14,04 | 0,9 | 18,2 |
| M9 | 134 | 13,15 | 391 691 | 995 | 14,04 | 1,1 | 17,5 |
| M10 | 134 | 13,15 | 392 661 | 995 | 14,05 | 1,2 | 17,7 |
| M11 | 137 | 13,23 | 437 035 | 995 | 14,13 | 1,1 | 20,0 |
| M12 | 137 | 13,20 | 435 002 | 995 | 14,14 | 1,1 | 19,8 |
| M13 | 137 | 13,18 | 433 222 | 994 | 14,15 | 1,1 | 19,9 |
| M14 | 137 | 13,20 | 432 887 | 994 | 14,18 | 1,1 | 19,9 |
| M15 | 137 | 13,21 | 432 980 | 994 | 14,19 | 1,0 | 19,5 |

Pregled vrijednosti paralelnih mjerenja SRM i AMS uređaja svedenih na referentne (GVE) uvjete (volumen suhih plinova kod referentnog O_2 od 15 % pri 0 °C i 1013,25 hPa) potrebne za testove varijabilnosti i valjanosti linearnih regresija dan je u tab. 21. Kako pomoćne veličine (p , 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. 21 korištene su „sirove“ vrijednosti AMS uređaja svedene na referentne uvjete korištenjem vrijednosti pomoćnih veličina mjerenih SRM uređajima.

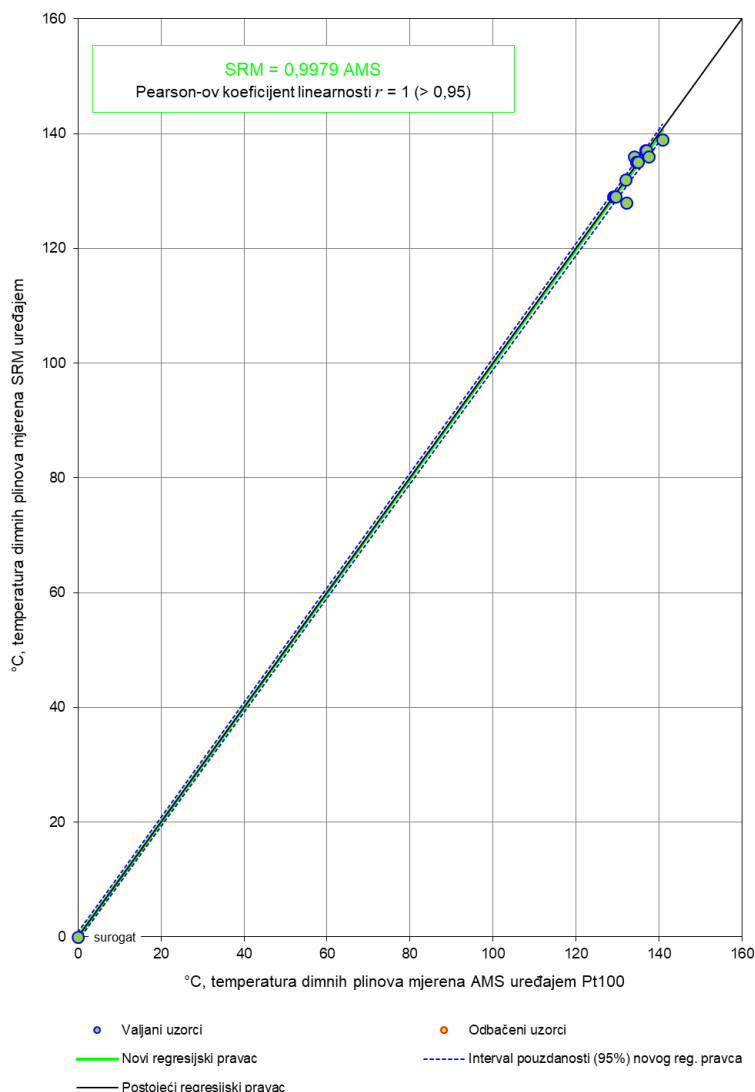
Tab. 21: Emisije iz ispusta plinske turbine PT2 mjerene SRM i AMS uređajima svedene na referentne uvjete

| SRM (PT2) | CO | NO _x |
|--------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | mg/m ³ _{ref} | mg/m ³ _{ref} |
| M1 | 0,3 | 24,1 |
| M2 | 0,0 | 23,5 |
| M3 | 0,1 | 23,3 |
| M4 | 0,0 | 23,1 |
| M5 | 0,0 | 22,9 |
| M6 | 0,4 | 21,2 |
| M7 | 0,4 | 21,3 |
| M8 | 0,4 | 21,5 |
| M9 | 0,5 | 21,6 |
| M10 | 0,5 | 21,7 |
| M11 | 0,2 | 25,3 |
| M12 | 0,1 | 25,4 |
| M13 | 0,0 | 25,4 |
| M14 | 0,0 | 25,4 |
| M15 | 0,1 | 25,6 |

| AMS (PT2) | CO | NO _x |
|--------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | mg/m ³ _{ref} | mg/m ³ _{ref} |
| M1 | 0,7 | 26,5 |
| M2 | 0,1 | 23,7 |
| M3 | 0,0 | 22,3 |
| M4 | 0,0 | 23,3 |
| M5 | 0,1 | 24,6 |
| M6 | 1,0 | 22,4 |
| M7 | 0,9 | 22,8 |
| M8 | 0,8 | 23,8 |
| M9 | 0,9 | 22,8 |
| M10 | 1,1 | 23,4 |
| M11 | 0,9 | 26,6 |
| M12 | 0,9 | 26,3 |
| M13 | 1,0 | 26,8 |
| M14 | 1,0 | 26,8 |
| M15 | 0,9 | 26,2 |

3.2.1. Mjerenje temperature uređajem Siemens SITRANS TS500

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.



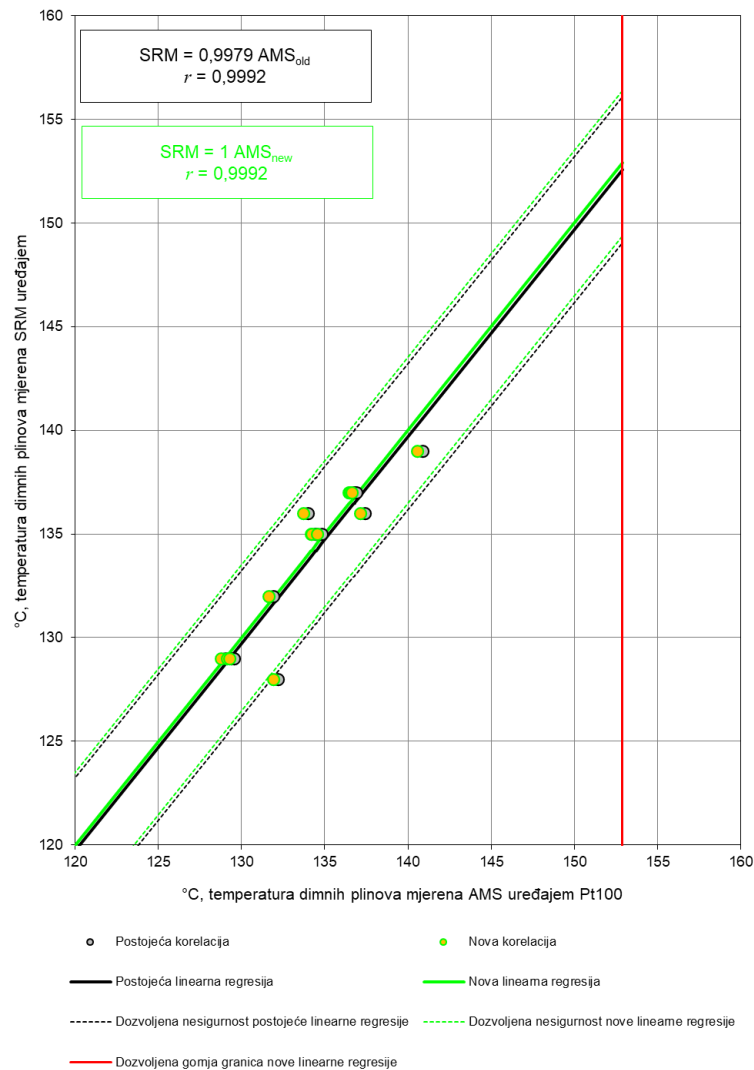
Sl. 25: Odnos postojećeg i novog regresijskog pravca AMS uređaja Siemens SITRANS TS500 za mjerenje temperature

Oba regresijska pravca prolaze kroz nultu točku ($min_{old} = min_{new} = 0 \text{ °C}$). Kako postojeći regresijski pravac leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca ($AMS_{new} = 0,9979 \cdot AMS_{old}$), zadržavaju se postojeći koeficijenti:

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

$$max_{new} = max_{old} = 400 \text{ °C}.$$

Mjerna nesigurnost ($\sigma_0 = \pm 3,52 \text{ °C}$) postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja za mjerenje temperature prikazana je na sl. 26. U tab. 22 su dani rezultati testa varijabilnosti postojeće linearne regresije.



Sl. 26: Dozvoljena mjerna nesigurnost postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja Siemens SITRANS TS500 za mjerenje temperature

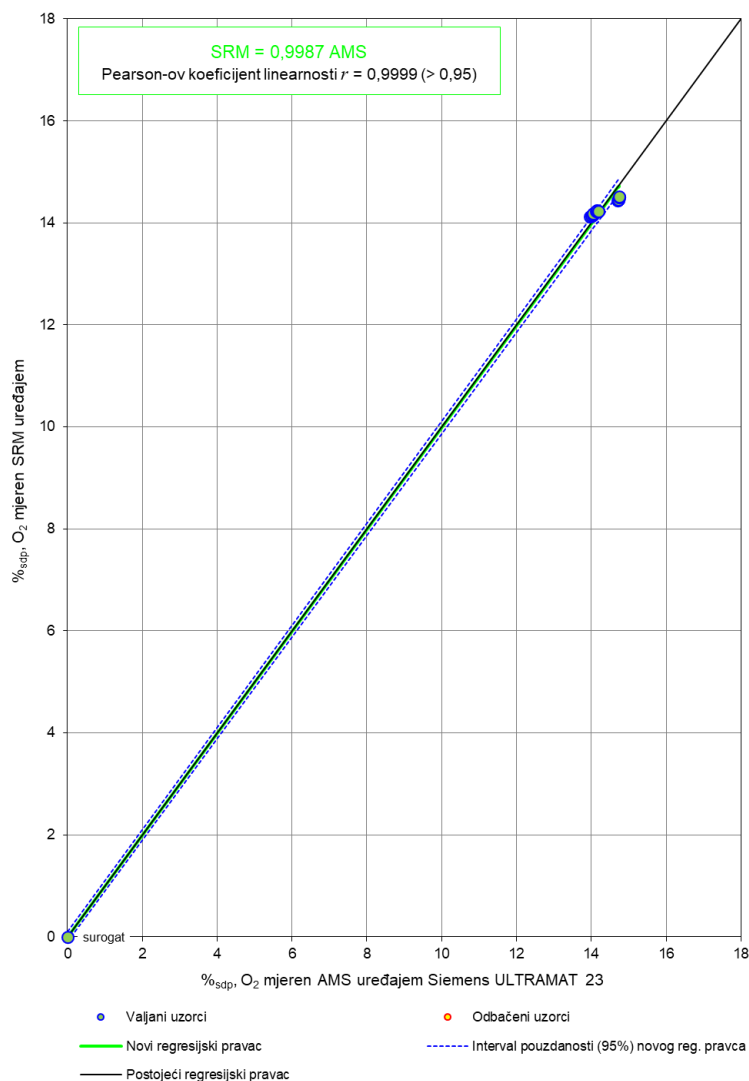
Tab. 22: Test varijabilnosti postojeće linearne regresije AMS uređaja Siemens SITRANS TS500 za mjerenje temperature

| $AMS_{new} = a + b \cdot AMS_{old}$ | | | | | | QAL2 test varijabilnosti | | | |
|--|-------------|-----|-----|-------------|-------------|-------------------------------|------------|-------|----------------------|
| $AMS_i = min_i + \frac{max_i - min_i}{16 \text{ mA}} \cdot (x - 4 \text{ mA}); i \in \{old, new\}$ | | | | | | $s_D \leq \sigma_0 \cdot k_v$ | | | |
| min_{old} | max_{old} | a | b | min_{new} | max_{new} | s_D | σ_0 | k_v | $\sigma_0 \cdot k_v$ |
| °C | °C | °C | - | °C | °C | 1,38 | 3,52 | 0,98 | 3,44 |
| 0 | 400 | 0 | 1 | 0 | 400 | Zadovoljava | | | |

Kao što se vidi iz tab. 22, postojeća linearna regresija AMS uređaja Siemens SITRANS TS500 za mjerenje temperature uspješno prolazi test varijabilnosti. Postojeći regresijski pravac ($min_{new} = min_{old} = 0 \text{ °C}$, $max_{new} = max_{old} = 400 \text{ °C}$) se može zadržati i valjan je u rasponu od 0 °C do 153 °C .

3.2.2. Mjerenje O₂ uređajem Siemens ULTRAMAT 23

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.



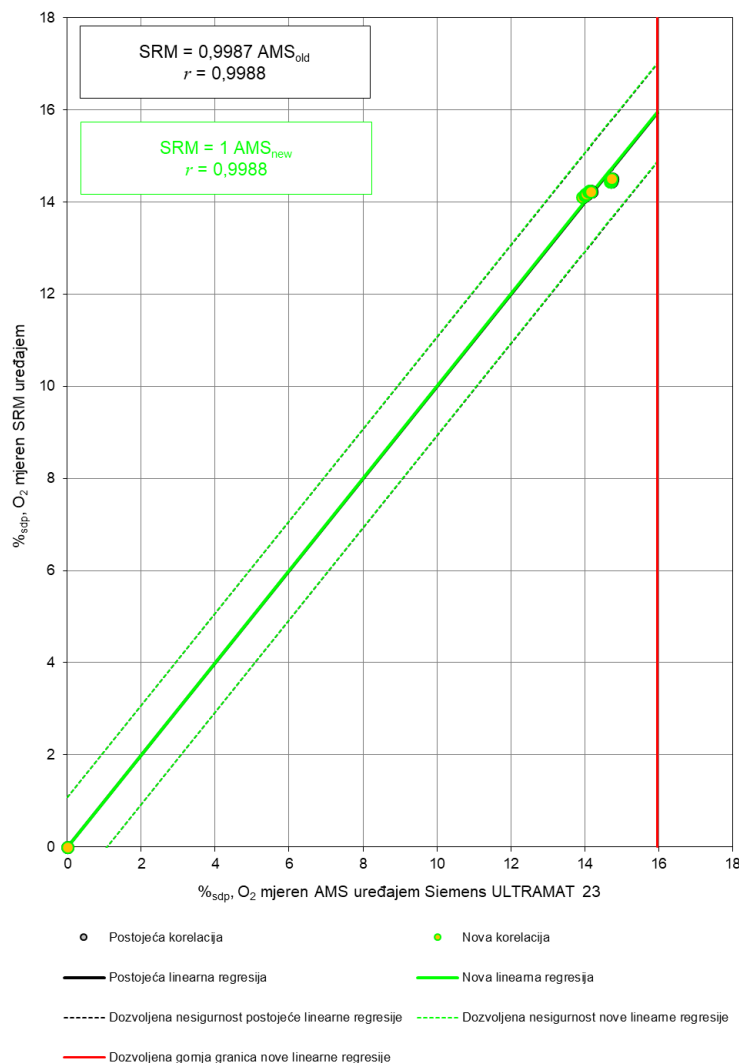
Sl. 27: Odnos postojećeg i novog regresijskog pravca AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje O₂ u suhim dimnim plinovima

Oba regresijska pravca prolaze kroz nultu točku ($min_{old} = min_{new} = 0 \text{ \%}_{sdp}$). Kako postojeći regresijski pravac leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca ($AMS_{new} = 0,9987 \cdot AMS_{old}$), zadržavaju se postojeći koeficijenti:

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

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

Mjerna nesigurnost ($\sigma_0 = \pm 1,07 \text{ \%}_{sdp}$) postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja za mjerenje O₂ u suhim dimnim plinovima prikazana je na sl. 28. U tab. 23 su dani rezultati testa varijabilnosti postojeće linearne regresije.



Sl. 28: Dozvoljena mjerna nesigurnost postojeće i nove linearne regresije Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje O₂ u suhim dimnim plinovima

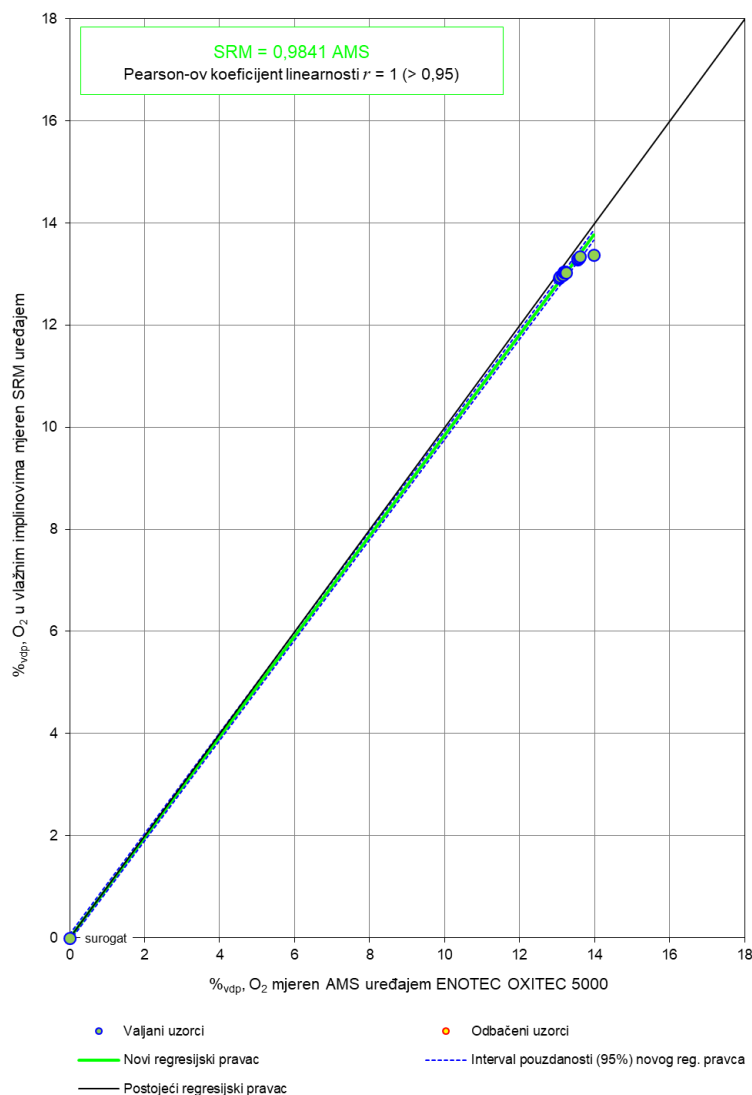
Tab. 23: Test varijabilnosti postojeće linearne regresije AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje O₂ u suhim dimnim plinovima

| AMS _{new} = a + b · AMS _{old} | | | | | | QAL2 test varijabilnosti | | | |
|--|--------------------|------|---|--------------------|--------------------|-------------------------------|----------------|----------------|---------------------------------|
| AMS _i = min _i + $\frac{max_i - min_i}{16 \text{ mA}}$ · (x - 4 mA); i ∈ {old, new} | | | | | | $s_D \leq \sigma_0 \cdot k_v$ | | | |
| min _{old} | max _{old} | a | b | min _{new} | max _{new} | s _D | σ ₀ | k _v | σ ₀ · k _v |
| %sdp | %sdp | %sdp | - | %sdp | %sdp | 0,18 | 1,07 | 0,98 | 1,05 |
| 0 | 25 | 0 | 1 | 0 | 25 | Zadovoljava | | | |

Kao što se vidi iz tab. 23, postojeća linearna regresija AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje O₂ u suhim dimnim plinovima uspješno prolazi test varijabilnosti. Postojeći regresijski pravac ($min_{new} = min_{old} = 0 \text{ \%sdp}$, $max_{new} = max_{old} = 25 \text{ \%sdp}$) se može zadržati i valjan je u rasponu od 0 %sdp do 16,0 %sdp.

3.2.3. Mjerenje O₂ uređajem ENOTEC OXITEC 5000

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.



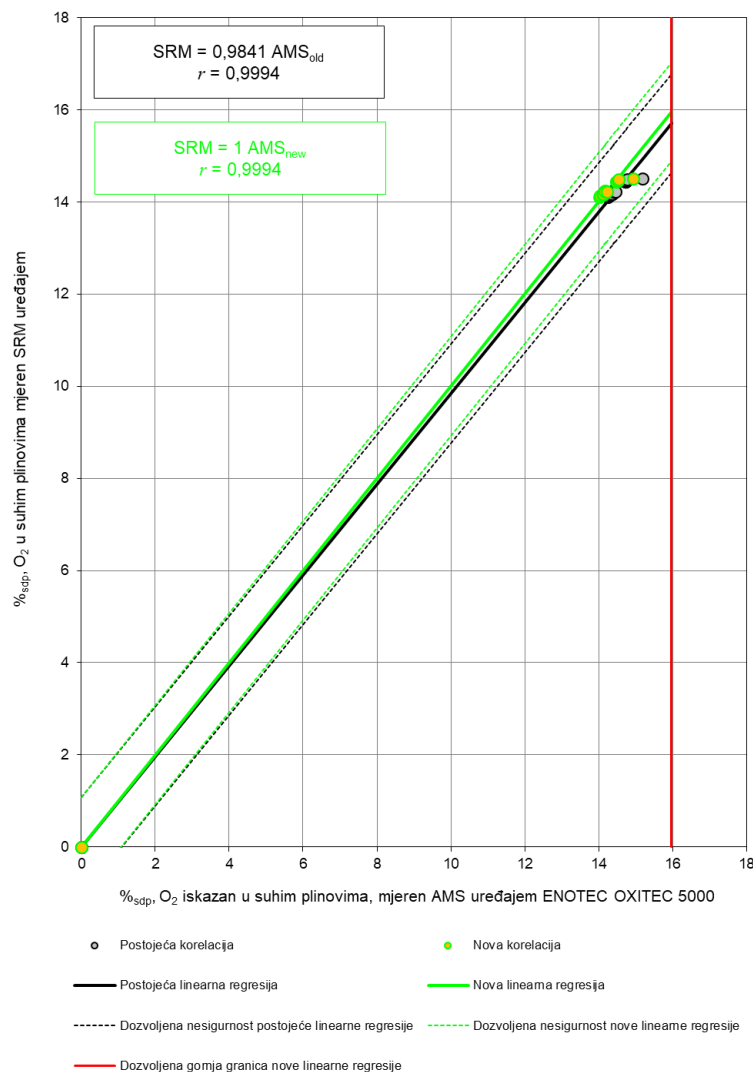
Sl. 29: Odnos postojećeg i novog regresijskog pravca AMS uređaja ENOTEC OXITEC 5000 za mjerenje O₂ u vlažnim dimnim plinovima

Oba regresijska pravca prolaze kroz nultu točku ($min_{old} = min_{new} = 0 \text{ \%vdp}$). Kako postojeći regresijski pravac ne leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca, razmotreno je usvajanje novog regresijskog pravca ($AMS_{new} = 0,9841 \cdot AMS_{old}$) kako je prikazano na sl. 30. Uzimajući u obzir mjernu nesigurnost postojeće i nove linearne regresije ($\sigma_0 = \pm 1,07 \text{ \%vdp}$), može se vidjeti da postojeći regresijski pravac u potpunosti leži unutar granica mjerne nesigurnosti novog pravca. Prema tome, postojeći regresijski pravac se može zadržati te stoga vrijedi:

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

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

Rezultati testa varijabilnosti postojeće linearne regresije dani su u tab. 24.



Sl. 30: Dozvoljena mjerna nesigurnost postojeće i nove linearne regresije ENOTEC OXITEC 5000 za mjerenje O₂ u suhim dimnim plinovima

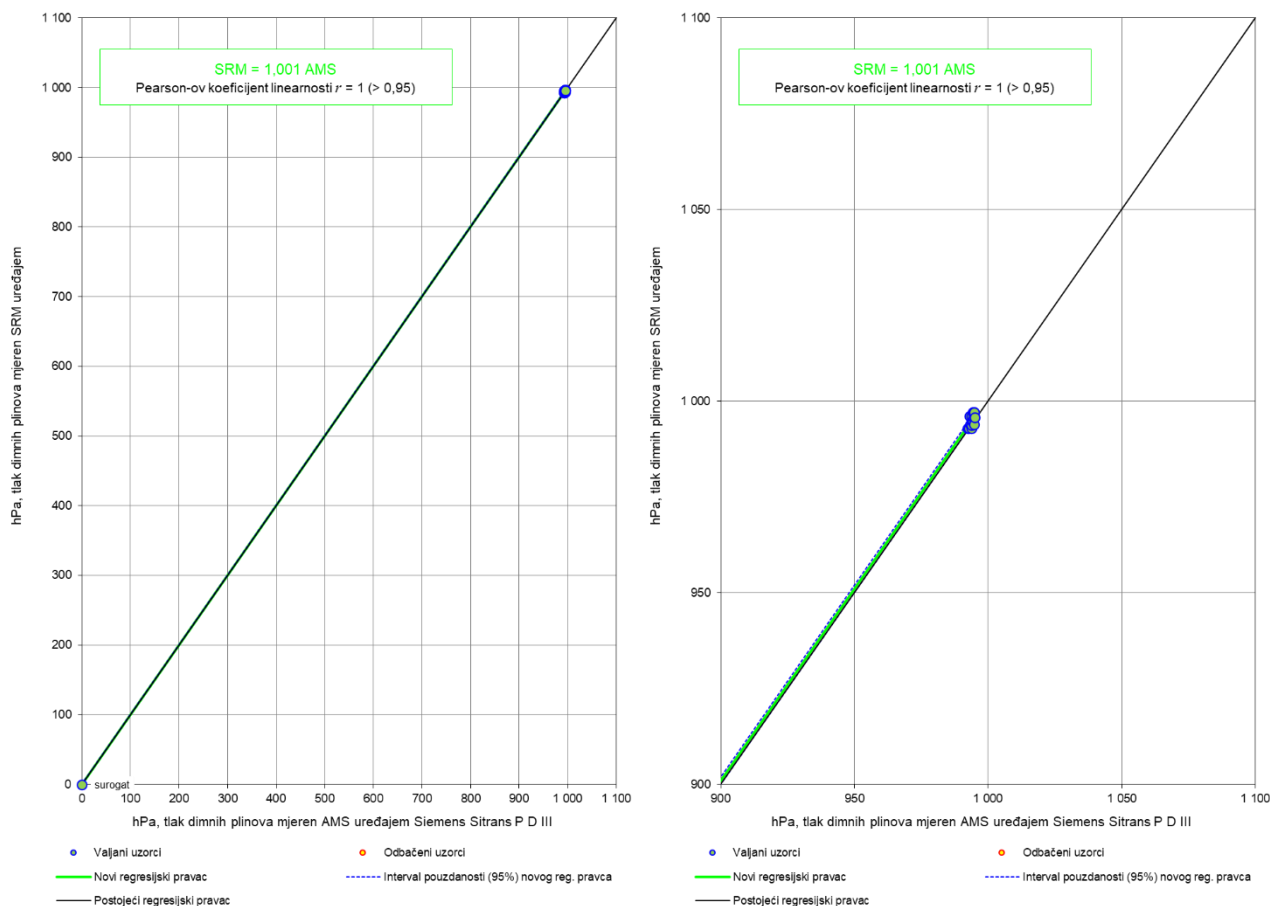
Tab. 24: Test varijabilnosti postojeće linearne regresije AMS uređaja ENOTEC OXITEC 5000 za mjerenje O₂ u vlažnim dimnim plinovima

| $AMS_{new} = a + b \cdot AMS_{old}$ $AMS_i = min_i + \frac{max_i - min_i}{16 \text{ mA}} \cdot (x - 4 \text{ mA}); i \in \{old, new\}$ | | | | | | QAL2 test varijabilnosti | | | |
|---|------------------|------------------|-----|------------------|------------------|-------------------------------|------------|-------|----------------------|
| | | | | | | $s_D \leq \sigma_0 \cdot k_v$ | | | |
| min_{old} | max_{old} | a | b | min_{new} | max_{new} | s_D | σ_0 | k_v | $\sigma_0 \cdot k_v$ |
| % _{vdp} | % _{vdp} | % _{vdp} | - | % _{vdp} | % _{vdp} | 0,13 | 1,07 | 0,98 | 1,05 |
| 0 | 21 | 0 | 1 | 0 | 21 | Zadovoljava | | | |

Kao što se vidi iz tab. 24, postojeća linearna regresija AMS uređaja ENOTEC OXITEC 5000 za mjerenje O₂ u vlažnim dimnim plinovima uspješno prolazi test varijabilnosti. Postojeći regresijski pravac ($min_{new} = min_{old} = 0 \text{ \%vdp}$, $max_{new} = max_{old} = 21 \text{ \%vdp}$) je valjan je u rasponu od 0 %_{sdp} do 16,0 %_{sdp}.

3.2.4. Mjerenje tlaka uređajem Siemens Sitrans P320

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.



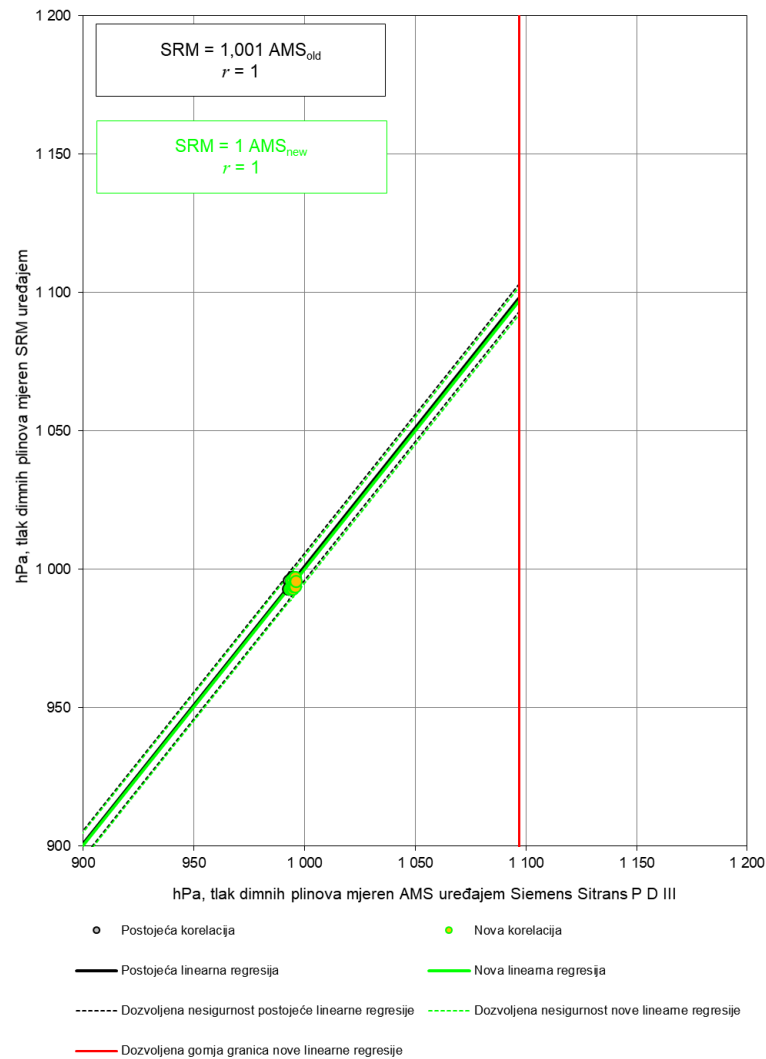
Sl. 31: Odnos postojećeg i novog regresijskog pravca AMS uređaja Siemens Sitrans P320 za mjerenje tlaka

Oba regresijska pravca prolaze kroz nultu točku ($min_{old} = min_{new} = 0$ hPa). Kako postojeći regresijski pravac ne leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca, razmotreno je usvajanje novog regresijskog pravca ($AMS_{new} = 1,001 \cdot AMS_{old}$) kako je prikazano na sl. 32. Uzimajući u obzir mjernu nesigurnost postojeće i nove linearne regresije ($\sigma_0 = \pm 4,90$ hPa), može se vidjeti da postojeći regresijski pravac u potpunosti leži unutar granica mjerne nesigurnosti novog pravca. Prema tome, postojeći regresijski pravac se može zadržati te stoga vrijedi:

$$min_{new} = min_{old} = 43 \text{ hPa,}$$

$$max_{new} = max_{old} = 1\,300 \text{ hPa.}$$

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



Sl. 32: Dozvoljena mjerna nesigurnost postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja Siemens Sitrans P320 za mjerenje tlaka

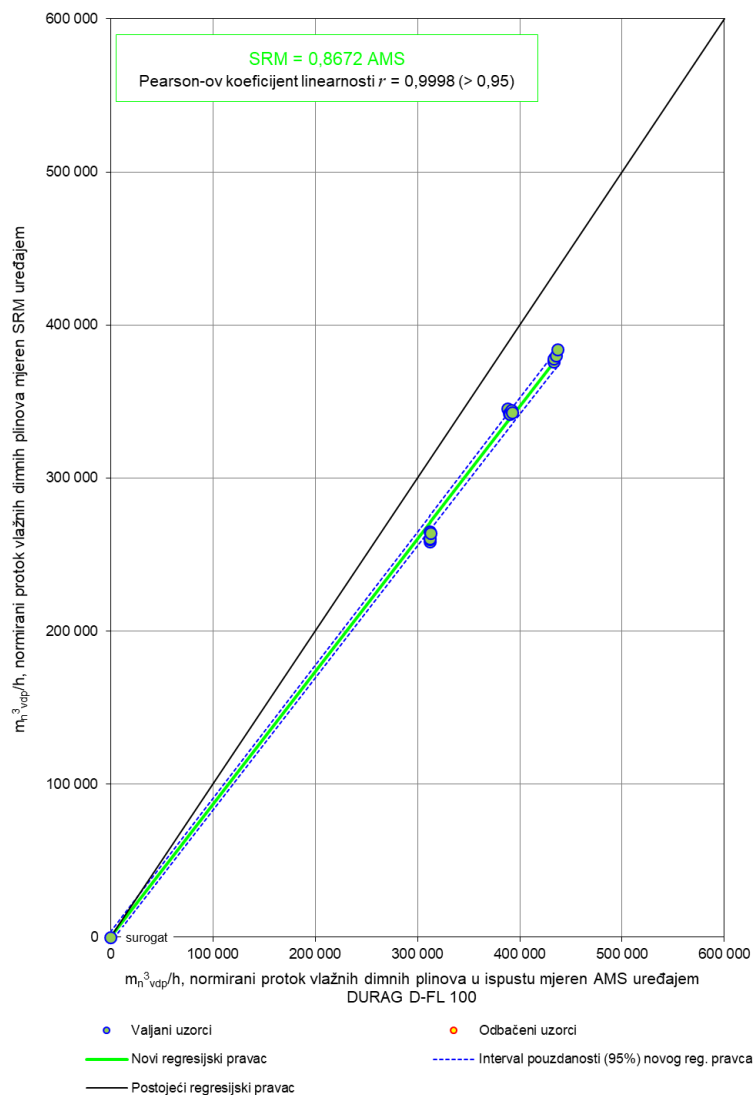
Tab. 25: Test varijabilnosti postojeće linearne regresije AMS uređaja Siemens Sitrans P320 za mjerenje tlaka

| $AMS_{\text{new}} = a + b \cdot AMS_{\text{old}}$ | | | | | | QAL2 test varijabilnosti | | | |
|--|---------------------|-----|-----|---------------------|---------------------|-------------------------------|------------|-------|----------------------|
| $AMS_i = \min_i + \frac{\max_i - \min_i}{16 \text{ mA}} \cdot (x - 4 \text{ mA}); i \in \{\text{old, new}\}$ | | | | | | $s_D \leq \sigma_0 \cdot k_v$ | | | |
| \min_{old} | \max_{old} | a | b | \min_{new} | \max_{new} | s_D | σ_0 | k_v | $\sigma_0 \cdot k_v$ |
| hPa | hPa | hPa | - | hPa | hPa | 1,28 | 4,90 | 0,98 | 4,78 |
| 43 | 1 300 | 0 | 1 | 43 | 1 300 | Zadovoljava | | | |

Kao što se vidi iz tab. 25, postojeća linearna regresija AMS uređaja Siemens Sitrans P320 za mjerenje tlaka uspješno prolazi test varijabilnosti. Postojeći regresijski pravac ($\min_{\text{new}} = \min_{\text{old}} = 43 \text{ hPa}$, $\max_{\text{new}} = \max_{\text{old}} = 1\,300 \text{ hPa}$) se može zadržati i valjan je u cijelom mjernom rasponu (od 43 hPa do 1 300 hPa).

3.2.5. Mjerenje protoka uređajem DURAG D-FL 100

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.



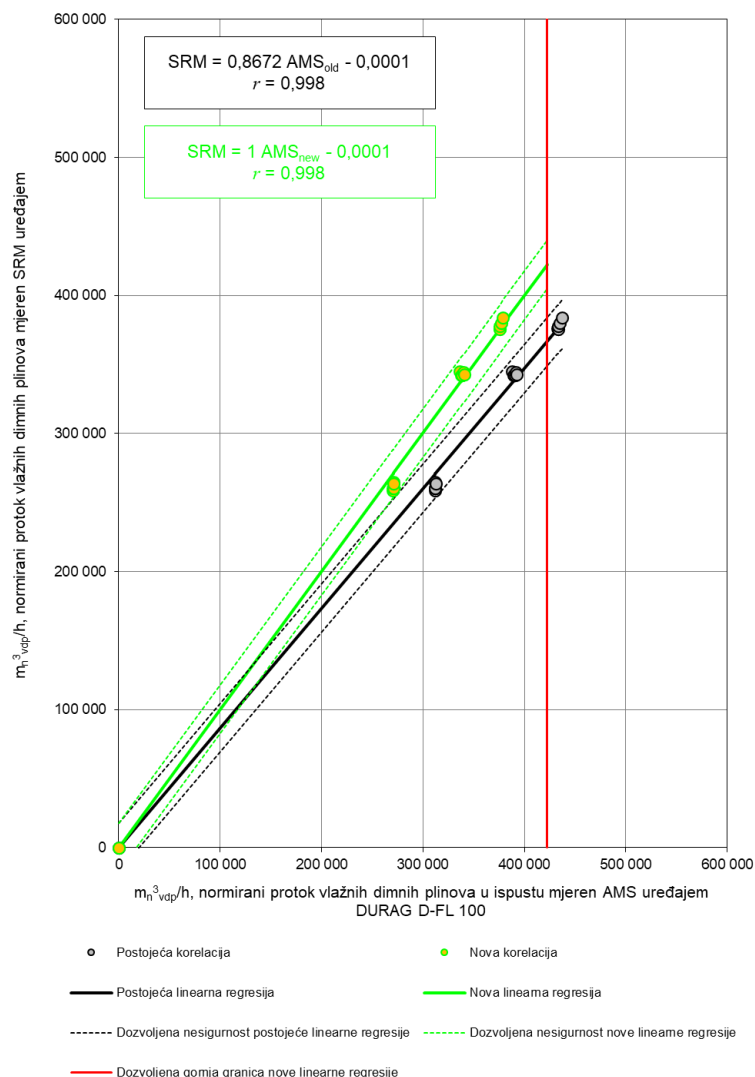
Sl. 33: Odnos postojećeg i novog regresijskog pravca AMS uređaja DURAG D-FL 100 za mjerenje protoka dimnih plinova

Oba regresijska pravca prolaze kroz nultu točku ($a_{0\text{old}} = a_{0\text{new}} = 0 \text{ m}_n^3 \text{ vdp/h}$). Kako postojeći regresijski pravac ne leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca usvajamo novi regresijski pravac ($\text{AMS}_{\text{new}} = 0,8672 \cdot \text{AMS}_{\text{old}}$). Stoga se u postavke uređaja moraju unijeti novi koeficijenti:

$$a_{0\text{new}} = a + b \cdot a_{0\text{old}} = 0 \text{ m}_n^3 \text{ vdp/h} + 0,8672 \cdot 0 \text{ m}_n^3 \text{ vdp/h} = 0 \text{ m}_n^3 \text{ vdp/h},$$

$$a_{1\text{new}} = b \cdot a_{1\text{old}} = 0,8672 \cdot 1 = 0,8672.$$

Mjerna nesigurnost ($\sigma_0 = \pm 17\,545 \text{ m}_n^3 \text{ vdp/h}$) postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja D-FL 100 za mjerenje protoka dimnih plinova prikazana je na sl. 34. U tab. 26 su dani rezultati testa varijabilnosti nove linearne regresije.



Sl. 34: Dozvoljena mjerna nesigurnost postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja DURAG D-FL 100 za mjerenje protoka dimnih plinova

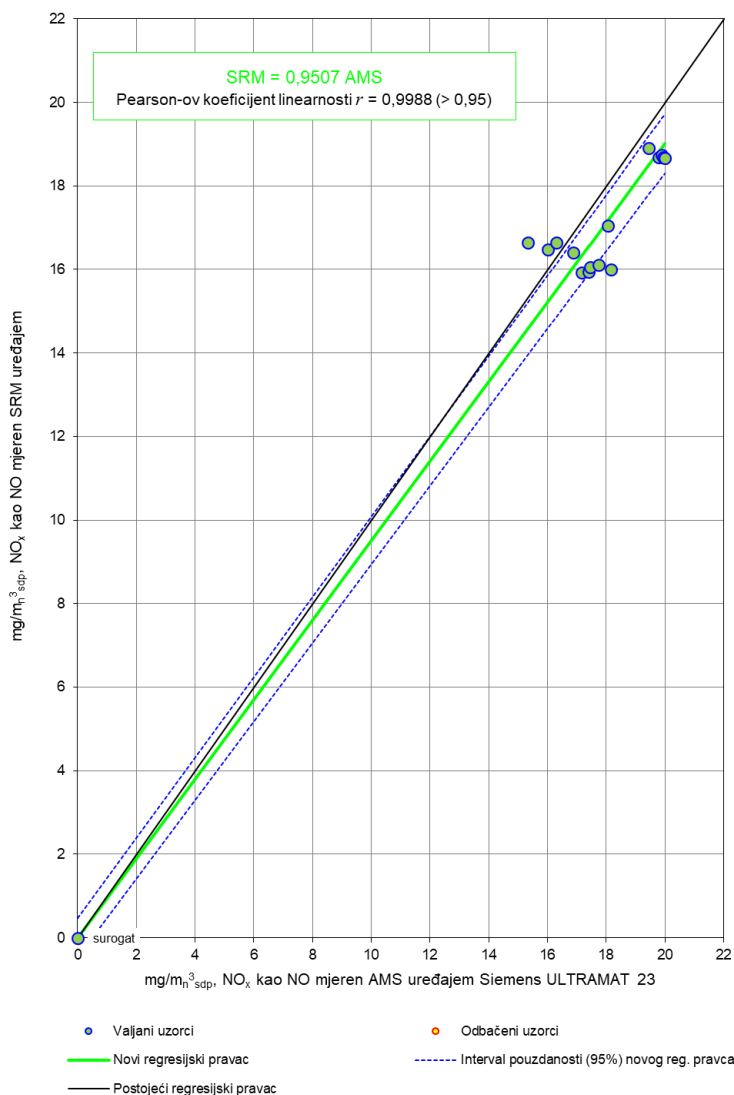
Tab. 26: Test varijabilnosti nove linearne regresije AMS uređaja DURAG D-FL 100 za mjerenje volumnog protoka dimnih plinova

| $AMS_{new} = a + b \cdot AMS_{old}$ $AMS_i = a_{0i} + a_{1i} \cdot Q; i \in \{old, new\}$ | | | | | | 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 | $\sigma_0 \cdot k_v$ |
| $m_n^3_{vdp}/h$ | - | $m_n^3_{vdp}/h$ | - | $m_n^3_{vdp}/h$ | - | 6 640 | 17 545 | 0,98 | 17 126 |
| 0 | 1 | 0 | 0,8672 | 0 | 0,8672 | Zadovoljava | | | |

Kao što se vidi iz tab. 26, nova linearna regresija AMS uređaja DURAG D-FL 100 za mjerenje volumnog protoka dimnih plinova uspješno prolazi test varijabilnosti. Novi regresijski pravac ($a_{0new} = a_{0old} = 0$, $a_{1new} = 0,8672$) je valjan u rasponu od $0 m_n^3_{vdp}/h$ do $422 634 m_n^3_{vdp}/h$.

3.2.6. Mjerenje NO_x 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.

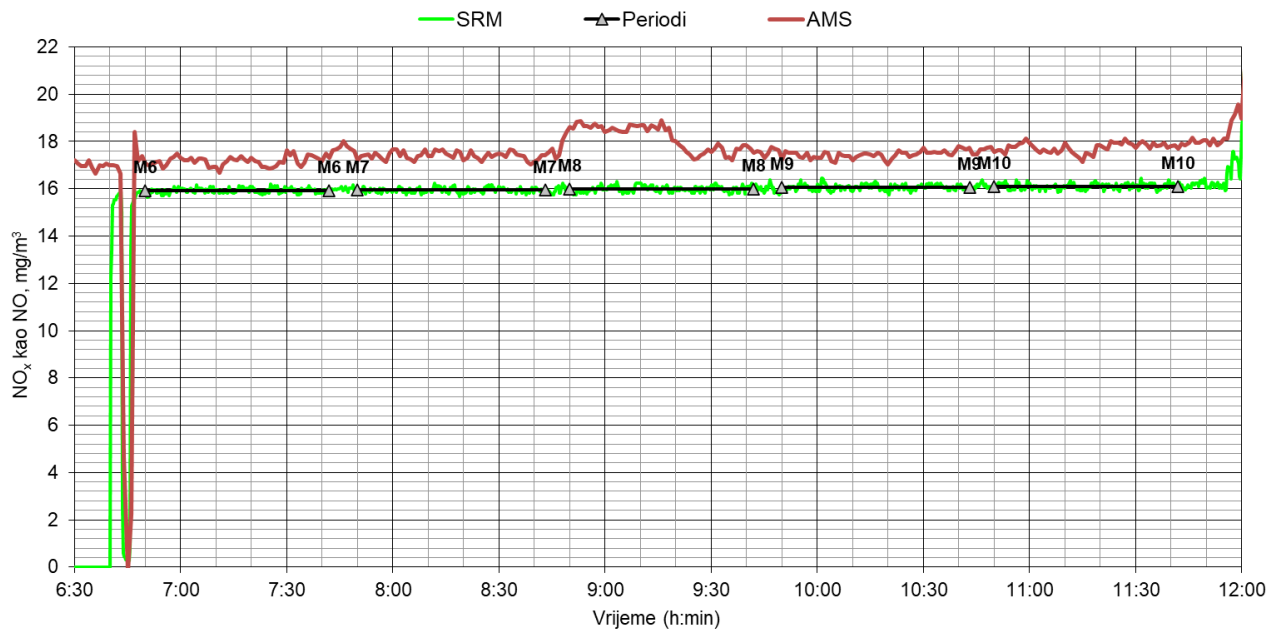


Sl. 35: Odnos postojećeg i novog regresijskog pravca AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje NO_x u suhim dimnim plinovima

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, razmotreno je usvajanje novog regresijskog pravca ($\text{AMS}_{\text{new}} = 0,9507 \cdot \text{AMS}_{\text{old}}$) kako je prikazano na sl. 35. Uzimajući u obzir mjernu nesigurnost postojeće i nove linearne regresije ($\sigma_0 = \pm 5,10 \text{ mg/m}^3_{\text{ref}}$), može se vidjeti da postojeći regresijski pravac u potpunosti leži unutar granica mjerne nesigurnosti novog pravca.

Slično kao i kod CEMS1 (poglavlje 3.1.6), prema sl. 35 može se uočiti manje odstupanje podatkovnih parova od regresijskog pravca koje utječe na izračun koeficijenata novog regresijskog pravca prikazanog na sl. 37. Ove devijacije su također primarno posljedica nasumičnih pomaka vrijednosti mjerenja AMS uređaja u odnosu na SRM koje su uočene tijekom paralelnih mjerenja, a primjer takve pojave je prikazan na sl. 36. Slika prikazuje period 6. 6. 2025. u kojem je izvršena druga serija od pet paralelnih mjerenja kod istog stacionarnog režima rada plinske turbine. S obzirom na isti režim rada plinske turbine, vrijednosti izmjerene SRM uređajem su konzistentno oscilirale oko gotovo iste srednje vrijednosti. Međutim, vrijednosti izmjerene AMS uređajem su u od

približno 8:45 do 9:20 imale neočekivani pomak koji je nakon toga nestao te su se razlike u odnosu na SRM uređaj vratile na gotovo istu prosječnu vrijednost prije pojave pomaka.



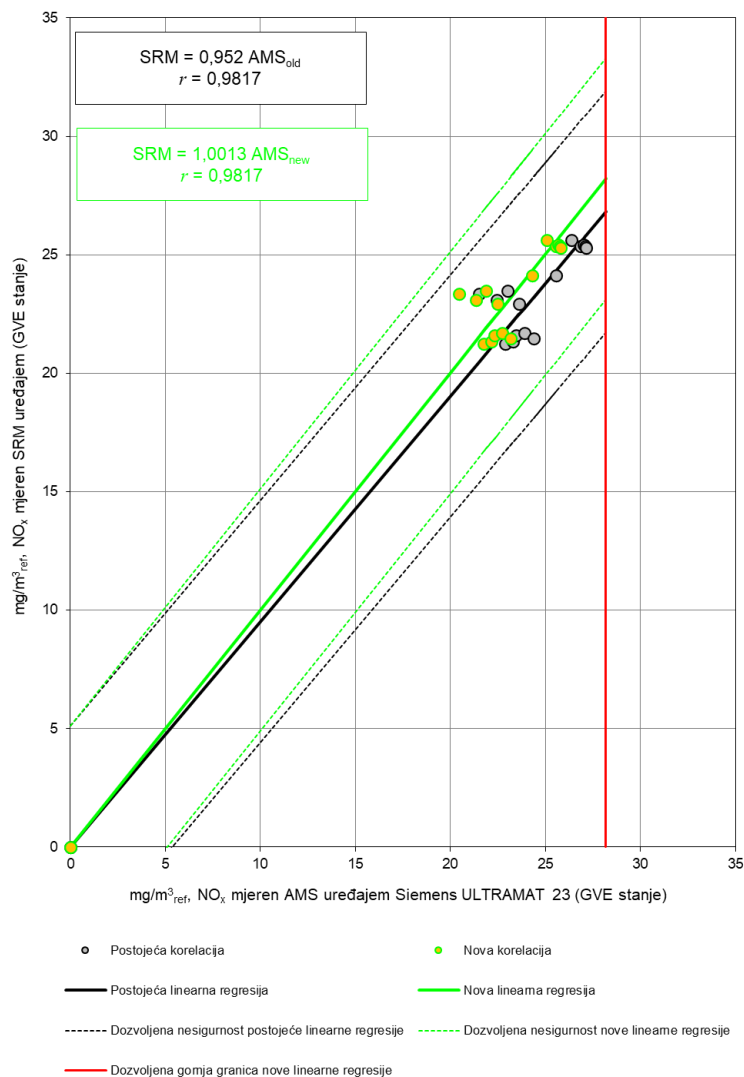
Sl. 36: Trend vrijednosti druge serije od pet paralelnih mjerenja NO_x AMS i SRM uređajem (6. 6. 2025.) kod istog stacionarnog režima rada plinske turbine PT2

Iako pomaci mjerenja AMS uređajem nisu toliko izraženi (u odnosu na CEMS1), također bi trebalo utvrditi i otkloniti razlog njihovog pojavljivanja čime bi se poboljšala preciznost i točnost mjerenja AMS uređajem. Do tada, postojeći regresijski pravac se može zadržati te stoga vrijedi:

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

$$\max_{\text{new}} = \max_{\text{old}} = 75 \text{ mg/m}_n^3_{\text{sdp}}.$$

Kod svođenja emisije NO_x izmjerenih AMS uređajem Siemens ULTRAMAT 23 na referentne uvjete korištene su vrijednosti O₂ mjerene SRM uređajem. Rezultati testa varijabilnosti postojeće linearne regresije dani su u tab. 27.



Sl. 37: Dozvoljena mjerna nesigurnost postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje NO_x u suhim dimnim plinovima

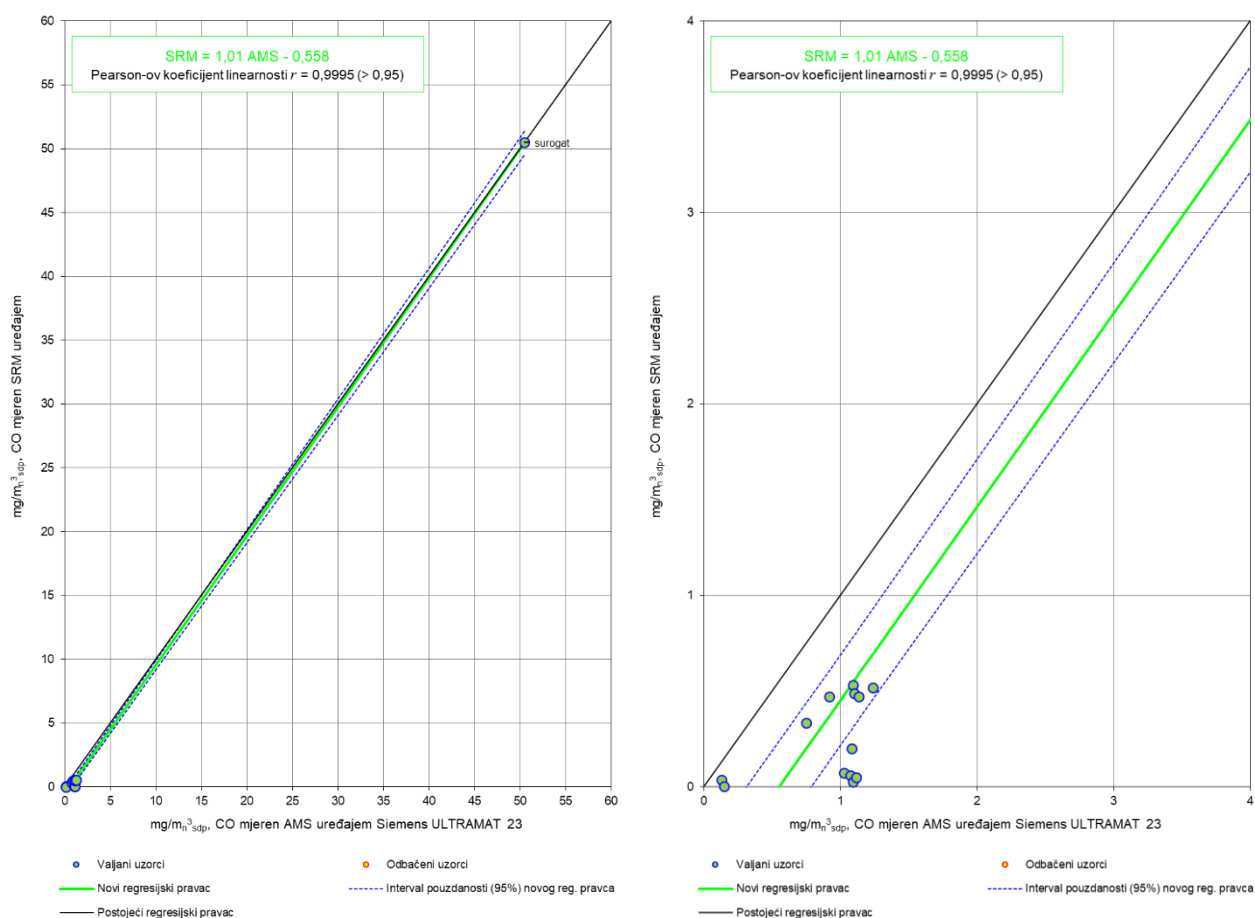
Tab. 27: Test varijabilnosti postojeće linearne regresije AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje NO_x u suhim dimnim plinovima

| $AMS_{new} = a + b \cdot AMS_{old}$ $AMS_i = min_i + \frac{max_i - min_i}{16 \text{ mA}} \cdot (x - 4 \text{ mA}); i \in \{old, new\}$ | | | | | | QAL2 test varijabilnosti | | | |
|---|----------------------------------|----------------------------------|-----|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------|-------|----------------------|
| | | | | | | $s_D \leq \sigma_0 \cdot k_v$ | | | |
| min_{old} | max_{old} | a | b | min_{new} | max_{new} | s_D | σ_0 | k_v | $\sigma_0 \cdot k_v$ |
| mg/m ³ _{sdp} | mg/m ³ _{sdp} | mg/m ³ _{sdp} | - | mg/m ³ _{sdp} | mg/m ³ _{sdp} | 1,25 | 5,10 | 0,98 | 4,98 |
| 0 | 75 | 0 | 1 | 0 | 75 | 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 uspješno prolazi test varijabilnosti. Postojeći regresijski pravac ($min_{new} = min_{old} = 0 \text{ mg/m}_n^3 \text{ sdp}$, $max_{new} = max_{old} = 75 \text{ mg/m}_n^3 \text{ sdp}$) se može zadržati (valjan je u rasponu od 0 mg/m^3_{ref} do $28,2 \text{ mg/m}^3_{ref}$), ali preporuka je utvrdi i otkloni razlog pojavljivanja stohastičkog pomaka mjerenja.

3.2.7. Mjerenje CO uređajem Siemens ULTRAMAT 23

Na sl. 38 je prikazan postojeći i novi regresijski pravac određen na temelju rezultata petnaest (M1-M15) valjanih paralelnih mjerenja i jedne dodatne, tzv. surogat točke.



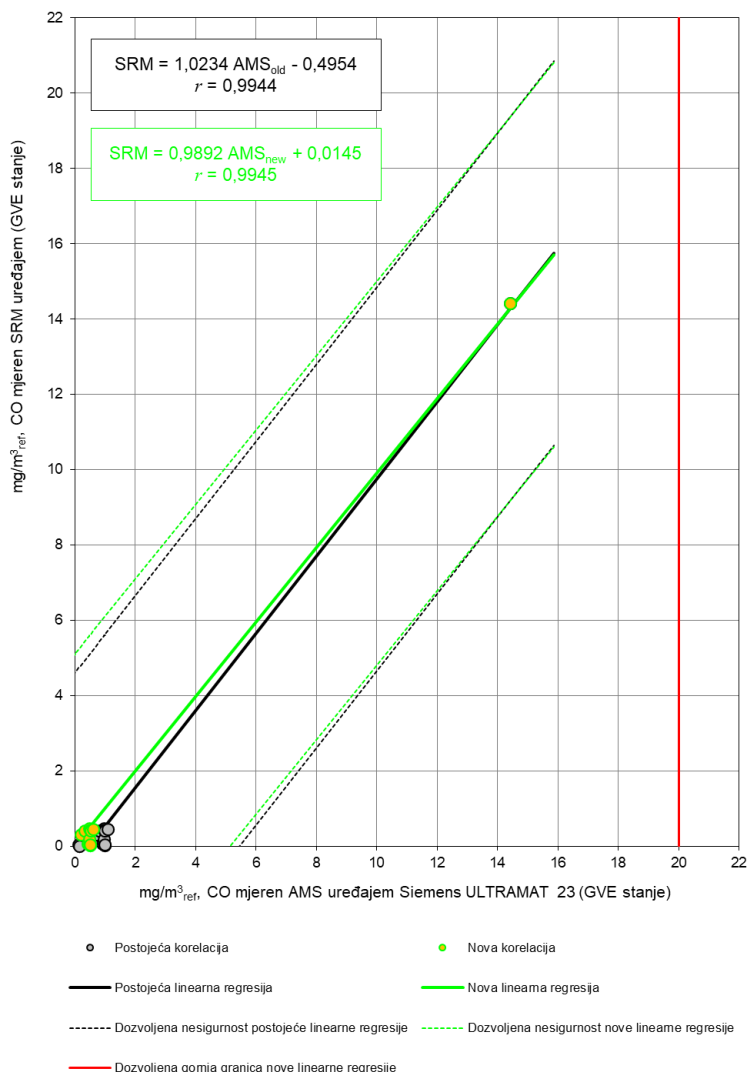
Sl. 38: Odnos postojećeg i novog regresijskog pravca AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje CO u suhim dimnim plinovima

Kako postojeći regresijski pravac ne leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca, razmotreno je usvajanje novog regresijskog pravca ($AMS_{new} = 1,01 \cdot AMS_{old} - 0,558$) kako je prikazano na sl. 39. Uzimajući u obzir mjernu nesigurnost postojeće i nove linearne regresije ($\sigma_0 = \pm 5,10 \text{ mg/m}^3_{ref}$), može se vidjeti da postojeći regresijski pravac u potpunosti leži unutar granica mjerne nesigurnosti novog pravca. Također, Siemens ULTRAMAT 23 je konfiguriran tako da se svakih 12 sati vrši kalibracija vanjskim zrakom pri čemu se mijenjaju koeficijenti regresije. Prema tome, vrijedi:

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

$$max_{new} = max_{old} = 125 \text{ mg/m}^3_{sdp}.$$

Kod svođenja emisije CO izmjerenih AMS uređajem Siemens ULTRAMAT 23 na referentne uvjete korištene su vrijednosti O_2 mjerene SRM uređajem. U tab. 28 su dani rezultati testa varijabilnosti postojeće linearne regresije.



Sl. 39: Dozvoljena mjerna nesigurnost postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje CO u suhim dimnim plinovima

Tab. 28: Test varijabilnosti postojeće linearne regresije AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje CO u suhim dimnim plinovima

| AMS _{new} = a + b · AMS _{old} | | | | | | QAL2 test varijabilnosti | | | |
|--|----------------------------------|----------------------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------|----------------|---------------------------------|
| AMS _i = min _i + $\frac{max_i - min_i}{16 \text{ mA}}$ · (x - 4 mA); i ∈ {old, new} | | | | | | $s_D \leq \sigma_0 \cdot k_v$ | | | |
| min _{old} | max _{old} | a | b | min _{new} | max _{new} | s _D | σ ₀ | k _v | σ ₀ · k _v |
| mg/m ³ _{sdp} | mg/m ³ _{sdp} | mg/m ³ _{sdp} | - | mg/m ³ _{sdp} | mg/m ³ _{sdp} | 0,38 | 5,10 | 0,98 | 4,98 |
| 0 | 125 | 0 | 1 | 0 | 125 | Zadovoljava | | | |

Kao što se vidi iz tab. 28, postojeća linearna regresija AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje CO u suhim dimnim plinovima uspješno prolazi test varijabilnosti. Postojeći regresijski pravac ($min_{new} = min_{old} = 0 \text{ mg/m}^3_{sdp}$, $max_{new} = max_{old} = 125 \text{ mg/m}^3_{sdp}$) se može zadržati i valjan je u rasponu od 0 mg/m^3_{ref} do 20 mg/m^3_{ref} .

4. ZAKLJUČAK

Umjeravanje uređaja za kontinuirano mjerenje emisija u zrak bloka L EL-TO Zagreb (CEMS1 i CEMS2) provedeno je sukladno postupku QAL2 norme HRN EN 14181. 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 CEMS1 bili umjereni potrebno je provesti radnje dane u tab. 29, a rezultati umjeravanja uređaja CEMS2 dani su u tab. 30. Pored toga, za oba ispusta se volumni udio vlage u dimnim plinovima određuje prema jednadžbi:

$$H_2O = \frac{O_2 - O_{2 \text{ wet}}}{O_2} \cdot 100 \% , \quad (8)$$

Točnost izračuna volumnog udjela vlage u dimnim plinovima prema formuli (8) jako ovisi o preciznosti i točnosti izmjerenih vrijednosti volumnog udjela kisika u suhim i volumnog udjela u vlažnim plinovima. Kako bi se izbjegle potencijalno velike greške, preporuka je usvojiti sljedeću (konstantnu) vrijednost:

$$H_2O = 7 \% , \quad (9)$$

Nadalje, za preračun izmjerenih vrijednosti protoka dimnih plinova na referentne uvjete potrebno je dodati korekciju dijeljenjem s koeficijentom k_{H_2O} (vidi jednadžbu (4) u poglavlju 2.2).

Tab. 29: Rezultati umjeravanja uređaja CEMS1

| Mjereni veličina | Postojeće postavke sustava | Novi postavke sustava | Napomena |
|--|---|--|---|
| Ugljikov monoksid CO | Minimum: 0 mg/m ³ Maksimum: 125 mg/m ³ | Minimum: 0 mg/m ³ Maksimum: 125 mg/m ³ | Ne treba mijenjati postavke uređaja. |
| Dušikovi oksidi NO_x | Minimum: 0 mg/m ³ Maksimum: 75 mg/m ³ | Minimum: 0 mg/m ³ Maksimum: 75 mg/m ³ | Ne treba mijenjati postavke uređaja, ali preporuke radi poboljšanja preciznosti i točnosti mjerenja su dane u poglavlju 3.1.6. |
| Kisik O_2 | Minimum: 0 % Maksimum: 25 % | Minimum: 0 % Maksimum: 25 % | Ne treba mijenjati postavke uređaja. |
| Temperatura dimnih plinova ϑ | Minimum: 0 °C Maksimum: 400 °C | Minimum: 0 °C Maksimum: 400 °C | Ne treba mijenjati postavke uređaja. |
| Tlak dimnih plinova p | Minimum: 43 hPa Maksimum: 1 300 hPa | Minimum: 43 hPa Maksimum: 1 300 hPa | Ne treba mijenjati postavke uređaja. |
| Protok dimnih plinova Q | Minimum: 0 m ³ /h Maksimum: 600 000 m ³ /h $Q_{cal} = a_0 + a_1 \cdot Q + a_2 \cdot Q^2 + a_3 \cdot Q^3$ <i>offset</i> a_0 : 0 <i>slope</i> a_1 : 1 <i>slope</i> a_2 : 0 <i>slope</i> a_3 : 0 | Minimum: 0 m ³ /h Maksimum: 600 000 m ³ /h $Q_{cal} = a_0 + a_1 \cdot Q + a_2 \cdot Q^2 + a_3 \cdot Q^3$ <i>offset</i> a_0 : 0 <i>slope</i> a_1 : 1,0515 <i>slope</i> a_2 : 0 <i>slope</i> a_3 : 0 | Umjeravanje AMS uređaja DURAG D-FL 100 treba provesti promjenom postavki samog uređaja, odnosno promjenom kalibracijskih faktora mjerenja protoka dimnih plinova (<i>Parameter Report</i> uređaja; poglavlje <i>Variable setup (Channel #1)</i>). |
| Kisik u vlažnim plinovima $O_{2 \text{ wet}}$ | Minimum: 0 % Maksimum: 21 % | Minimum: 0 % Maksimum: 24,032 % | Jednadžba novog pravca: $O_{2 \text{ wet}} = [1,3125 \cdot (mA) - 5,25] \cdot 1,1444$ $O_{2 \text{ wet}} = [1,502 \cdot (mA) - 6,008]$ |
| Sumporov dioksid SO_2 | Minimum: 0 mg/m ³ Maksimum: 85 mg/m ³ | Minimum: 0 mg/m ³ Maksimum: 85 mg/m ³ | Ne treba mijenjati postavke uređaja. |

Tab. 30: Rezultati umjeravanja uređaja CEMS2

| Mjerena veličina | Postojeće postavke sustava | Novе postavke sustava | Napomena |
|---|---|--|---|
| Ugljikov monoksid CO | Minimum: 0 mg/m ³ Maksimum: 125 mg/m ³ | Minimum: 0 mg/m ³ Maksimum: 125 mg/m ³ | Ne treba mijenjati postavke uređaja. |
| Dušikovi oksidi NO_x | Minimum: 0 mg/m ³ Maksimum: 75 mg/m ³ | Minimum: 0 mg/m ³ Maksimum: 75 mg/m ³ | Ne treba mijenjati postavke uređaja, ali preporuke radi poboljšanja preciznosti i točnosti mjerenja su dane u poglavlju 3.2.6. |
| Kisik O_2 | Minimum: 0 % Maksimum: 25 % | Minimum: 0 % Maksimum: 25 % | Ne treba mijenjati postavke uređaja. |
| Temperatura dimnih plinova ϑ | Minimum: 0 °C Maksimum: 400 °C | Minimum: 0 °C Maksimum: 400 °C | Ne treba mijenjati postavke uređaja. |
| Tlak dimnih plinova p | Minimum: 43 hPa Maksimum: 1 300 hPa | Minimum: 43 hPa Maksimum: 1 300 hPa | Ne treba mijenjati postavke uređaja. |
| Protok dimnih plinova Q | Minimum: 0 m ³ /h Maksimum: 600 000 m ³ /h $Q_{cal} = a_0 + a_1 \cdot Q + a_2 \cdot Q^2 + a_3 \cdot Q^3$ <i>offset</i> a_0 : 0 <i>slope</i> a_1 : 1 <i>slope</i> a_2 : 0 <i>slope</i> a_3 : 0 | Minimum: 0 m ³ /h Maksimum: 600 000 m ³ /h $Q_{cal} = a_0 + a_1 \cdot Q + a_2 \cdot Q^2 + a_3 \cdot Q^3$ <i>offset</i> a_0 : 0 <i>slope</i> a_1 : 0,8672 <i>slope</i> a_2 : 0 <i>slope</i> a_3 : 0 | Umjeravanje AMS uređaja DURAG D-FL 100 treba provesti promjenom postavki samog uređaja, odnosno promjenom kalibracijskih faktora mjerenja protoka dimnih plinova (<i>Parameter Report</i> uređaja; poglavlje <i>Variable setup (Channel #1)</i>). |
| Kisik u vlažnim plinovima $O_{2\ wet}$ | Minimum: 0 % Maksimum: 21 % | Minimum: 0 % Maksimum: 21 % | Ne treba mijenjati postavke uređaja. |

KRATICE I INDEKSI

| | |
|------------------|--|
| AMS | engl. <i>Automated Measuring System</i> , Automatski Mjerni Sustav ili sustav za kontinuirano mjerenje emisije u zrak, isto što i CEMS. |
| CEMS | sustav za kontinuirano mjerenja emisija u zrak (engl. <i>Continuous Emissions Monitoring System</i>), isto što i AMS. |
| C_{ref} | emisija (općenito, bilo koja emisijska veličina) svedena na volumen suhih plinova kod referentnog udjela O_2 u suhim plinovima pri 0 °C i 1013,25 hPa. |
| HAA | Hrvatska Akreditacijska Agencija. |
| m^3 | metar kubni. |
| m^3_{isp} | normi m^3 koji se odnosi na stanje u ispustu, odnosno m^3 kod tlaka i temperature u ispustu. |
| m_n^3 | normirani m^3 , predstavlja količinu (broj molekula) idealnog plina koja kod 273,15 K (0 °C) i 1013,25 hPa zauzima volumen od 1 m^3 . |
| $m_n^3_{sdp}$ | normirani m^3 koji se odnosi na suhe plinove pri sadržaju O_2 mjenom u ispustu. |
| $m_n^3_{vdp}$ | normirani m^3 koji se odnosi na vlažne plinove pri sadržaju O_2 mjenom u ispustu. |
| m^3_{vdp} | m^3 koji se odnosi na vlažne plinove pri sadržaju O_2 mjenom u ispustu. |
| m^3_{ref} | normirani m^3 koji se odnosi na suhe plinove pri referentnom sadržaju O_2 - odnosno m^3 sveden na referentne uvjete plinova prema <i>Uredbi o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora</i> („Narodne novine“ 87/2017). Za obje plinske turbine bloka L m^3 pri referentnom stanju (m^3_{ref}) se odnosi na volumen suhih plinova kod referentnog O_2 od 15 % pri 0 °C i 1013,25 hPa. |
| % | volumni udio iskazan u postotku. |
| % _{sdp} | volumni udio u suhom plinu pri sadržaju O_2 mjenom u ispustu iskazan u postotku. |
| % _{vdp} | volumni udio u vlažnom plinu pri sadržaju O_2 mjenom u ispustu iskazan u postotku. |
| ppm | engl. <i>parts per million</i> , udio u milijun, ovdje se radi o volumnom udjelu, 1 ppm = 10^{-4} %. |
| SRM | engl. <i>Standard Reference Method</i> , Standardna Referentna Metoda. |
| in-situ | lat. <i>in situ</i> ; engl. <i>in place</i> , na samom mjestu, analiza otpadnih plinova pri kojoj je analizator smješten na mjestu uzorkovanja (na kanalu, ispustu) a mjerenje se |

provodi direktno u mjerenoj tvari, bilo u točki, liniji ili djelu volumena unutar kanala (ispusta).

s_D standardna devijacija razlika vrijednosti izmjerenih AMS i SRM uređajima.

σ_0 mjerna nesigurnost iskazana kao standardna devijacija.

k_v $k_v = \sqrt{\frac{\chi_{0,5;(N-1)}^2}{N-1}}$, gdje je $\chi_{0,5;(N-1)}^2$ varijabla hi-kvadrat razdiobe za vjerojatnost 50 % i $N-1$ stupnjeva slobode, a N je broj paralelnih mjerenja (AMS i SRM).

D_{sr} srednja vrijednost razlika između vrijednosti izmjerenih AMS i SRM uređajima.

$t_{0,95;(N-1)}$ varijabla (jednostrane) Studentove razdiobe za vjerojatnost 95 % i $N-1$ stupnjeva slobode, gdje je N broj paralelnih mjerenja (AMS i SRM).

POJMOVNIK

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

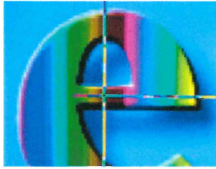
PRILOG A

Izveštaj o mjerenju emisija iz ispusta plinskih turbina bloka L EL-TO Zagreb,
EKONERG - Laboratorij za mjerenje emisija, izvještaj L-I-02-2231/25, 18. srpanj 2025.

**IZVJEŠTAJ O MJERENJU EMISIJA
IZ ISPUSTA PLINSKIH TURBINA
BLOKA L EL-TO ZAGREB**



Zagreb, 2025.



EKONERG d.o.o. ♦ Odjel za mjerenja i analitiku
Laboratorij za mjerenje emisija, Koranska 5, HR-10000 Zagreb
Tel: +385 (0)1 6000-1111; Faks: +385 (0)1 6171-560



Naručitelj: **Siemens d.d.**
Heinzelova 70a
10000 Zagreb

Ugovor br.: 9500274641
Radni nalog: I-02-2231/25
Oznaka izvještaja: L-I-02-2231/25
Plan mjerenja: L-I-02-2231/25-P

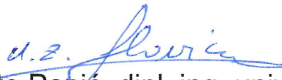
Naslov:

**IZVJEŠTAJ O MJERENJU EMISIJA IZ ISPUSTA PLINSKIH TURBINA BLOKA L EL-TO
ZAGREB**

Ispitivanja proveli: mr. sc. Željko Slavica, dipl. ing. stroj.
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:

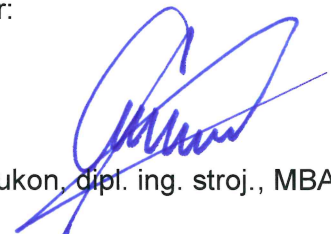

Mato Papić, dipl. ing. univ. spec.

Direktor Odjela za mjerenje i analitiku:



Bojan Abramović, dipl. ing. stroj.

Direktor:



Elvis Cukon, dipl. ing. stroj., MBA

Zagreb, 18. 7. 2025.



SADRŽAJ

| | |
|--|----------|
| 1. OSNOVNI PODATCI O IZVOĐAČU MJERENJA..... | 2 |
| 2. OSNOVNI PODATCI I TEHNIČKE ZNAČAJKE IZVORA ONEČIŠĆENJA | 2 |
| 3. OPSEG MJERENJA | 2 |
| 4. PRIMIJENJENE METODE I MJERNI UREĐAJI | 4 |
| 4.1. MJERENJE SASTAVA PLINOVA..... | 5 |
| 4.2. ODREĐIVANJE VOLUMNOG UDJELA VODENE PARE..... | 5 |
| 4.3. MJERENJE BRZINE PLINOVA | 5 |
| 4.4. MJERENJE TEMPERATURE PLINOVA | 5 |
| 4.5. TLAK PLINOVA U ISPUSTU | 5 |
| 4.6. BAROMETARSKI TLAK I TEMPERATURA OKOLINE | 6 |
| 5. REŽIMI RADA ZA VRIJEME MJERENJA..... | 6 |
| 5.1. MJERNI PRESJEK PT1 | 6 |
| 5.2. MJERNI PRESJEK PT2 | 6 |
| 6. REZULTATI MJERENJA | 7 |
| 6.1. MJERNI PRESJEK PT1 | 7 |
| 6.2. MJERNI PRESJEK PT2 | 9 |

PRILOG

B. Plan mjerenja.



1. OSNOVNI PODATCI O IZVOĐAČU MJERENJA

Mjerenje emisija u zrak iz ispusta dimnih plinova kotla na otpadnu toplinu KIP1 plinske turbine PT1 i kotla na otpadnu toplinu KIP2 plinske turbine PT2 bloka L EL-TO Zagreb proveo je *Laboratorij za mjerenje emisija* tvrtke EKONERG d.o.o.

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

2. OSNOVNI PODATCI I TEHNIČKE ZNAČAJKE IZVORA ONEČIŠĆENJA

Elektrana-toplana Zagreb (EL-TO Zagreb) je prvenstveno namijenjena proizvodnji toplinske energije, dok se električna energija proizvodi u spojnom (kogeneracijskom) procesu. Toplinska energija se isporučuje vrelvodnom sustavu Grada Zagreba za podmirivanje ogrjevnog i sanitarnog konzuma (potrošna topla voda) i parnom sustavu za podmirivanje potrošnje tehnološke pare i parnog grijanja. Električna energija se proizvodi u bloku B, te u tri plinsko-turbinska kogeneracijska bloka H, J i L. Osim navedenih blokova u EL-TO Zagreb su instalirane i proizvodne jedinice direktne proizvodnje toplinske energije, vrelvodni kotlovi VK3 i VK4 te niskotlačni parni kotlovi NTK1, NTK2, NTK3 i NTK4. Glavne tehničke značajke bloka L EL-TO Zagreb dane su u tab. 1.

Tab. 1: Tehničke značajke bloka L EL-TO Zagreb

| Plinski turbo-agregati | oznaka plinske turbine: | PT1 | PT2 |
|--|--|-------------------------------|-------------------------------|
| | gorivo: | prirodni plin | prirodni plin |
| | nazivna električna snaga generatora: | 55 MW | 55 MW |
| Kotlovi na otpadnu toplinu (utilizatori) | oznaka kotla: | KIP1 | KIP2 |
| | nazivna proizvodnja visokotlačne pare: | 130 t/h | 130 t/h |
| | temperatura i tlak visokotlačne pare: | 545 °C / 93 bar ^{a)} | 545 °C / 93 bar ^{a)} |
| | nazivna proizvodnja niskotlačne pare: | 24 t/h | 24 t/h |
| temperatura i tlak niskotlačne pare: | 285 °C / 12 bar ^{a)} | 285 °C / 12 bar ^{a)} | |
| Parna turbina | nazivna električna snaga generatora: | 36,8 MW | |

^{a)} Tlakovi pare su manometarski tlakovi.

Osnovni podatci o izvoru onečišćenja navedeni su prema *Stručnoj podlozi zahtjeva za izmjenu i dopunu uvjeta iz rješenja o okolišnoj dozvoli EL-TO Zagreb (svibanj 2025.)*.

3. OPSEG MJERENJA

Svrha mjerenja emisija onečišćujućih tvari u zrak je umjeravanje uređaja sustava za kontinuirano mjerenje emisija koji u ispustima kotlova na otpadnu toplinu plinskih turbina PT1 i PT2 (CEMS1 i CEMS) mjere: NO_x , O_2 (u suhim i dodatno u vlažnim plinovima), SO_2 , CO , protok dimnih plinova, tlak i temperaturu plinova.

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

² Analizatorski modul Siemens SIPROCESS UV600 je smješten unutar analitičkog ormara CEMS1 i služi za mjerenje SO_2 iz ispusta dimnih plinova KIP1 ili KIP2 (ne može mjeriti SO_2 istovremeno iz oba ispusta).



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 iz ispusta dimnih plinova kotla na otpadnu toplinu KIP1 plinske turbine PT1 (nadalje: **mjerni presjek PT1**) dan je u tab. 2. Kod stanja u ispustu mjerena je: temperatura plinova (ϑ , °C), tlak plinova (p , hPa), brzina plinova (v , m/s) te su proračunski dobivene vrijednosti volumnog sadržaja vodene pare (H_2O , %), a u suhim plinovima je mjereno: volumni udio kisika (O_2 , %), volumni udio ugljikovog dioksida (CO_2 , %), volumni udio ugljikovog monoksida (CO , ppm), volumni udio dušikovih oksida (NO_x , ppm) i volumni udio sumporovog dioksida (SO_2 , ppm).

Tab. 2: Mjerenja u mjernom presjeku PT1

| Oznaka mjerenja | Datum i bruto periodi mjerenja | | | Radna snaga generatora plinske turbine MW | Relativno opterećenje ³ % | Stanje okoline | | |
|-----------------|--------------------------------|-------|-------|--|---|----------------|-------------------|-------------------------|
| | datum | od | do | | | p hPa | ϑ °C | Relativna vlažnost % |
| M1 | 4. 6. 2025. | 7:20 | 8:13 | 28,0 | 51 | 996 | 21 | 59 |
| M2 | | 8:20 | 9:14 | 28,0 | 51 | 996 | 23 | 53 |
| M3 | | 9:20 | 10:13 | 28,0 | 51 | 995 | 25 | 46 |
| M4 | | 10:20 | 11:12 | 28,0 | 51 | 995 | 27 | 43 |
| M5 | | 11:20 | 12:12 | 28,0 | 51 | 995 | 28 | 40 |
| M6 | | 12:45 | 13:38 | 44,0 | 80 | 990 | 29 | 39 |
| M7 | | 13:45 | 14:37 | 44,1 | 80 | 989 | 30 | 36 |
| M8 | | 14:45 | 15:37 | 44,0 | 80 | 989 | 30 | 32 |
| M9 | | 15:45 | 16:38 | 44,0 | 80 | 988 | 30 | 34 |
| M10 | | 16:45 | 17:37 | 44,0 | 80 | 988 | 29 | 37 |
| M11 | 5. 6. 2025. | 7:00 | 7:52 | 50,4 | 92 | 988 | 21 | 58 |
| M12 | | 8:00 | 8:52 | 51,1 | 93 | 988 | 23 | 56 |
| M13 | | 9:00 | 9:53 | 50,3 | 91 | 988 | 25 | 44 |
| M14 | | 10:00 | 10:53 | 49,6 | 90 | 988 | 26 | 37 |
| M15 | | 11:00 | 11:52 | 49,4 | 90 | 988 | 27 | 32 |

Pregled provedenih mjerenja *Laboratorija za mjerenje emisija* u mjernom presjeku iz ispusta dimnih plinova kotla na otpadnu toplinu KIP2 plinske turbine PT2 (nadalje: **mjerni presjek PT2**) dan je u tab. 3. Kod stanja u ispustu mjerena je: temperatura plinova (ϑ , °C), tlak plinova (p , hPa), brzina plinova (v , m/s) te su proračunski dobivene vrijednosti volumnog sadržaja vodene pare (H_2O , %), a u suhim plinovima je mjereno: volumni udio kisika (O_2 , %), volumni udio ugljikovog dioksida (CO_2 , %), volumni udio ugljikovog monoksida (CO , ppm) i volumni udio dušikovih oksida (NO_x , ppm).

³ Relativno opterećenje definirano je u odnosu na nazivnu električnu (radnu) snagu generatora od 55 MW.



Tab. 3: Mjerenja u mjernom presjeku PT2

| Oznaka mjerenja | Datum i bruto periodi mjerenja | | | Radna snaga generatora plinske turbine | Relativno opterećenje ⁴ | Stanje okoline | | |
|-----------------|--------------------------------|-------|-------|--|------------------------------------|----------------|----------|--------------------|
| | | | | | | <i>p</i> | <i>θ</i> | Relativna vlažnost |
| | datum | od | do | | | MW | % | hPa |
| M1 | 5. 6. 2025. | 13:20 | 14:13 | 28,0 | 51 | 993 | 30 | 32 |
| M2 | | 14:20 | 15:13 | 28,0 | 51 | 993 | 30 | 31 |
| M3 | | 15:20 | 16:14 | 28,0 | 51 | 993 | 31 | 29 |
| M4 | | 16:20 | 17:13 | 28,0 | 51 | 992 | 31 | 30 |
| M5 | | 17:20 | 18:13 | 28,0 | 51 | 992 | 30 | 32 |
| M6 | 6. 6. 2025. | 6:50 | 7:42 | 44,0 | 80 | 990 | 20 | 65 |
| M7 | | 7:50 | 8:43 | 44,0 | 80 | 990 | 22 | 56 |
| M8 | | 8:50 | 9:42 | 44,0 | 80 | 990 | 24 | 51 |
| M9 | | 9:50 | 10:43 | 44,0 | 80 | 990 | 25 | 48 |
| M10 | | 10:50 | 11:42 | 44,0 | 80 | 990 | 27 | 45 |
| M11 | | 12:10 | 13:02 | 49,8 | 91 | 987 | 28 | 44 |
| M12 | | 13:10 | 14:03 | 49,3 | 90 | 986 | 29 | 41 |
| M13 | | 14:10 | 15:02 | 48,9 | 89 | 986 | 30 | 38 |
| M14 | | 15:10 | 16:04 | 48,9 | 89 | 986 | 30 | 35 |
| M15 | | 16:10 | 17:04 | 48,9 | 89 | 986 | 30 | 33 |

4. PRIMIJENJENE METODE I MJERNI UREĐAJI

Metode i oprema korištena tijekom mjerenja emisija onečišćujućih tvari u zrak dani su u tab. 4. 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. 4: Metode i glavna oprema korištena pri mjerenju

| Mjerna veličina | Metoda uzorkovanja | Metoda mjerenja | Glavna korištena oprema |
|---------------------|--------------------|----------------------------|---|
| O_2^* | HRN EN 15259:2008 | HRN EN 14789:2017 | Analizator HORIBA PG-350E (lab. oznaka E.U. 29.1), 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 | | interna metoda eLAB-PE-108 | Laboratorijski izvještaj o sastavu prirodnog plina u čvornoj točki <i>MRS Zagreb Jug stream 1</i> (www.plinacro.hr). Podatci o tlaku, temperaturi i relativnoj vlažnosti zraka iz procesnog sustava Siemens SPPA-T3000. |
| 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 | SICK GRAVIMAT SHC 501 (lab. oznaka E.U. 26.1). |
| temperatura okoline | | interna metoda eLAB-PE-106 | ALMEMO 2590-4S (lab. oznaka E.U. 21.1) i NTC temperaturni osjetnik (lab. oznaka E.U. 21.7). |
| tlak u ispustu | | | SICK GRAVIMAT SHC 501 (lab. oznaka E.U. 26.1). |
| tlak okoline | | | SICK GRAVIMAT SHC 501 (lab. oznaka E.U. 26.1). |

* Akreditirane metode Laboratorija za mjerenje emisija

⁴ Relativno opterećenje definirano je u odnosu na nazivnu električnu (radnu) snagu generatora od 55 MW.



4.1. MJERENJE SASTAVA PLINOVA

Analizatori PG-350E (lab. oznaka E.U. 29.1) i PG-350EU (lab. oznaka E.U. 31.1) mjere 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 HORIBA PG-350E i PG-350EU referentnim plinovima vršena je dva puta dnevno, prije i nakon serije mjerenja.

Prema rezultatima prethodnih mjerenja sastav plinova u mjernom presjeku PT1 je bio homogen.⁵

4.2. ODREĐIVANJE VOLUMNOG UDJELA VODENE PARE

Volumni udio vodene pare (vlage) u dimnim plinovima (H_2O) izračunat je prema internoj metodi *eLAB-PE-108 Računsko određivanje vlage*. U sklopu ulaznih veličina izračuna korišteni su: izmjerene vrijednosti volumnih koncentracija O_2 u suhim dimnim plinovima, prikupljeni podatci o temperaturi, tlaku i relativnoj vlažnosti zraka⁶ te izvještaj o kvaliteti prirodnog plina distribucijskog sustava tvrtke PLINACRO d.o.o. (www.plinacro.hr).

4.3. MJERENJE BRZINE PLINOVA

Mjerenja brzine plinova u 20 točaka poprečnog mjernog presjeka PT1 i PT2 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.

4.4. MJERENJE TEMPERATURE PLINOVA

Mjerenja temperature plinova u 20 točaka poprečnog mjernog presjeka PT1 i PT2 provedena su prema akreditiranoj internoj metodi *eLAB-PE-106 Mjerenje temperature u kanalu otpadnih plinova* otpornim osjetnikom Pt100 koji je sastavni dio uređaja SICK GRAVIMAT SHC 501 (lab. oznaka E.U. 26.1).

4.5. TLAK PLINOVA U ISPUSTU

Tlak plinova (p , hPa) u mjernom presjeku PT1 i PT2 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 mjerena SICK GRAVIMAT-om SHC 501,
- p_0 , hPa; barometarski tlak mjerena SICK GRAVIMAT-om SHC 501,
- ρ , kg/m³; gustoća vlažnih dimnih plinova kod stanja u ispustu. Gustoća je funkcija od sastava vlažnih dimnih plinova te tlaka (p) i temperature (ϑ) u ispustu.

⁵ Izvještaj *Emissions Guarantee Test Report of Two SGT-800 Gas Turbines at Block L, EL-TO Zagreb*, siječanj 2025. godine (L-I-02-2230).

⁶ Podatci o stanju okolišnog zraka (temperatura, tlak i relativna vlažnost) na ulazu u kompresor plinske turbine prikupljeni su iz procesnog sustava Siemens SPPA-T3000.



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-350E ili PG-350EU izmjerenog volumnog sastava suhih dimnih plinova (O_2 , CO_2 , ostatak N_2) i izračunatog volumnog udjela vodene pare u dimnim plinovima (H_2O).

4.6. BAROMETARSKI TLAK I TEMPERATURA OKOLINE

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

5. REŽIMI RADA ZA VRIJEME MJERENJA

5.1. MJERNI PRESJEK PT1

Mjerenja u mjernom presjeku ispusta PT1 provedena su 4. i 5. lipnja 2025. godine (vidi tab. 2). Sva mjerenja su provedena s pretežno nepromjenjivim uvjetima rada, a glavni parametri koji opisuju režime rada plinske turbine tijekom provedenih paralelnih emisijskih mjerenja dani su u tab. 5.

Tab. 5: Režimi rada plinske turbine PT1 tijekom provedenih mjerenja

| Oznaka mjerenja | Datum i bruto periodi mjerenja | | | Protok prirodnog plina ⁷ m ³ /h | Radna snaga generatora plinske turbine MW | Temperatura zraka na usisu u kompresor plinske turbine °C |
|-----------------|--------------------------------|-------|-------|--|--|--|
| | datum | od | do | | | |
| M1 | 4. 6. 2025. | 13:20 | 14:13 | 8 584 | 28,0 | 21,4 |
| M2 | | 14:20 | 15:13 | 8 562 | 28,0 | 23,3 |
| M3 | | 15:20 | 16:14 | 8 539 | 28,0 | 25,3 |
| M4 | | 16:20 | 17:13 | 8 523 | 28,0 | 26,7 |
| M5 | | 17:20 | 18:13 | 8 515 | 28,0 | 27,5 |
| M6 | | 6:50 | 7:42 | 11 536 | 44,0 | 28,7 |
| M7 | | 7:50 | 8:43 | 11 525 | 44,1 | 29,8 |
| M8 | | 8:50 | 9:42 | 11 516 | 44,0 | 30,1 |
| M9 | | 9:50 | 10:43 | 11 519 | 44,0 | 29,8 |
| M10 | | 10:50 | 11:42 | 11 519 | 44,0 | 29,4 |
| M11 | 5. 6. 2025. | 12:10 | 13:02 | 12 844 | 50,4 | 21,5 |
| M12 | | 13:10 | 14:03 | 12 992 | 51,1 | 22,6 |
| M13 | | 14:10 | 15:02 | 12 811 | 50,3 | 24,7 |
| M14 | | 15:10 | 16:04 | 12 678 | 49,6 | 26,3 |
| M15 | | 16:10 | 17:04 | 12 625 | 49,4 | 26,9 |

5.2. MJERNI PRESJEK PT2

Mjerenja u mjernom presjeku ispusta PT2 provedena su 5. i 6. lipnja 2025. godine (vidi tab. 3). Sva mjerenja su provedena s pretežno nepromjenjivim uvjetima rada, a glavni parametri koji opisuju režime rada plinske turbine tijekom provedenih paralelnih emisijskih mjerenja dani su u tab. 6.

⁷ Protok prirodnog plina iskazan je pri 0 °C i 1013,25 hPa.



Tab. 6: Režimi rada plinske turbine PT2 tijekom provedenih mjerenja

| Oznaka mjerenja | Datum i bruto periodi mjerenja | | | Protok prirodnog plina ⁸ | Radna snaga generatora plinske turbine | Temperatura zraka na usisu u kompresor plinske turbine |
|-----------------|--------------------------------|-------|-------|-------------------------------------|--|--|
| | datum | od | do | | | |
| M1 | 5. 6. 2025. | 13:20 | 14:13 | 8 563 | 28,0 | 29,5 |
| M2 | | 14:20 | 15:13 | 8 509 | 28,0 | 30,4 |
| M3 | | 15:20 | 16:14 | 8 504 | 28,0 | 30,9 |
| M4 | | 16:20 | 17:13 | 8 498 | 28,0 | 30,8 |
| M5 | | 17:20 | 18:13 | 8 507 | 28,0 | 30,3 |
| M6 | 6. 6. 2025. | 6:50 | 7:42 | 11 613 | 44,0 | 19,9 |
| M7 | | 7:50 | 8:43 | 11 608 | 44,0 | 22,0 |
| M8 | | 8:50 | 9:42 | 11 596 | 44,0 | 23,7 |
| M9 | | 9:50 | 10:43 | 11 580 | 44,0 | 25,4 |
| M10 | | 10:50 | 11:42 | 11 561 | 44,0 | 27,1 |
| M11 | | 12:10 | 13:02 | 12 789 | 49,8 | 28,3 |
| M12 | | 13:10 | 14:03 | 12 689 | 49,3 | 29,4 |
| M13 | | 14:10 | 15:02 | 12 613 | 48,9 | 30,2 |
| M14 | | 15:10 | 16:04 | 12 594 | 48,9 | 30,5 |
| M15 | | 16:10 | 17:04 | 12 597 | 48,9 | 30,4 |

6. REZULTATI MJERENJA

6.1. MJERNI PRESJEK PT1

4. i 5. lipnja 2025. godine u mjernom presjeku PT1 izvršeno je petnaest mjerenja (M1-M15): temperature (ϑ), tlaka (p), brzine dimnih plinova (v) te volumnih udjela SO_2 , CO_2 , CO , NO_x i O_2 u suhim dimnim plinovima.

Rezultati mjerenja veličina u ispustu i rezultati izračuna sadržaja vlage (H_2O) u dimnim plinovima dani su u tab. 7, a rezultati mjerenja sastava suhih dimnih plinova dani su u tab. 8. Uz vrijednosti svih izmjerenih veličina iskazana je proširena mjerna nesigurnost (uz razinu pouzdanosti od 95 %).

U tab. 9 su dani rezultati mjerenja i mjerna nesigurnost rezultata (nivo pouzdanosti 95 %) svedeni na referentne ili tzv. GVE uvjete, odnosno rezultati i mjerna nesigurnost su iskazani za suhe dimne plinove kod normiranog stanja (1013,25 hPa i 0 °C) i 15 % kisika u suhim dimnim plinovima. Svođenje na referentne ili tzv. GVE uvjete vrši se na sljedeći način:

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

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

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

⁸ Protok prirodnog plina iskazan je pri 0 °C i 1013,25 hPa.



gdje je:

- $C_{n, sdp}$; mg/m³; izmjerena masena koncentracija emisije (SO_2 , CO ili NO_x) u suhim dimnim plinovima kod (približno) normiranog stanja (0 °C i 1013,25 hPa),
- C_{ref} ; mg/m³; masena koncentracija emisije (SO_2 , CO ili NO_x) po jedinici volumena suhих dimnih plinova ($H_2O = 0\%$) kod normiranog stanja (0 °C i 1013,25 hPa) i referentnog volumnog udjela kisika u suhim dimnim plinovima od 15 %,
- Q ; m³/s; izmjereni volumni protok vlažnih dimnih plinova (H_2O) kod temperature (ϑ), tlaka (p) i volumnog udjela kisika (O_2) u ispustu,
- Q_{ref} ; m³/s; volumni protok suhих dimnih plinova ($H_2O = 0\%$) kod normiranog stanja (0 °C i 1013,25 hPa) i volumnog udjela kisika u suhim dimnim plinovima od 15 %,
- v ; m/s; izmjerena brzina dimnih plinova u ispustu,
- A ; 6,9 m²; površina poprečnog mjernog presjeka ispusta PT1.

Tab. 7: Rezultati mjerenja u mjernom presjeku PT1

| Mjerenje | ϑ^* | p | v^* | H_2O |
|----------|---------------|--------|-----------|--------|
| | °C | hPa | m/s | % |
| M1 | 131 ±1 | 995 ±6 | 18,6 ±0,2 | 7,15 |
| M2 | 131 ±1 | 995 ±6 | 18,6 ±0,2 | 7,14 |
| M3 | 131 ±1 | 995 ±6 | 18,5 ±0,2 | 7,10 |
| M4 | 130 ±1 | 995 ±6 | 18,5 ±0,2 | 7,10 |
| M5 | 130 ±1 | 995 ±6 | 18,5 ±0,2 | 7,10 |
| M6 | 137 ±1 | 992 ±6 | 24,9 ±0,2 | 7,29 |
| M7 | 137 ±1 | 992 ±6 | 25,0 ±0,2 | 7,22 |
| M8 | 137 ±1 | 992 ±6 | 25,0 ±0,2 | 7,09 |
| M9 | 137 ±1 | 992 ±6 | 25,0 ±0,2 | 7,17 |
| M10 | 137 ±1 | 992 ±6 | 24,7 ±0,2 | 7,28 |
| M11 | 139 ±1 | 993 ±6 | 28,7 ±0,2 | 7,09 |
| M12 | 139 ±1 | 993 ±6 | 28,7 ±0,2 | 7,18 |
| M13 | 139 ±1 | 993 ±6 | 28,6 ±0,2 | 6,96 |
| M14 | 139 ±1 | 993 ±6 | 28,5 ±0,2 | 6,83 |
| M15 | 138 ±1 | 993 ±6 | 28,2 ±0,2 | 6,72 |

* Akreditirane metode Laboratorija za mjerenje emisija



Tab. 8: Rezultati mjerenja sastava suhих dimnih mjernog presjeka PT1

| Mjerenje | O_2^* | CO_2^* | CO^* | NO_x^* kao NO_2 | SO_2^* |
|----------|-------------|------------|-------------------|------------------------|-------------------|
| | % | % | mg/m ³ | mg/m ³ | mg/m ³ |
| M1 | 15,42 ±0,65 | 3,26 ±0,51 | 0,7 ±1,2 | 22 ±2 | 1 ±3 |
| M2 | 15,46 ±0,65 | 3,24 ±0,51 | 0,6 ±1,2 | 22 ±2 | 1 ±3 |
| M3 | 15,47 ±0,65 | 3,22 ±0,51 | 0,7 ±1,2 | 22 ±2 | 1 ±3 |
| M4 | 15,47 ±0,65 | 3,21 ±0,51 | 0,9 ±1,2 | 22 ±2 | 2 ±3 |
| M5 | 15,44 ±0,65 | 3,21 ±0,51 | 0,9 ±1,2 | 22 ±2 | 1 ±3 |
| M6 | 15,32 ±0,65 | 3,28 ±0,51 | 0,9 ±1,2 | 17 ±2 | 1 ±3 |
| M7 | 15,35 ±0,65 | 3,25 ±0,51 | 1,0 ±1,2 | 18 ±2 | 1 ±3 |
| M8 | 15,37 ±0,65 | 3,22 ±0,51 | 1,1 ±1,2 | 18 ±2 | 1 ±3 |
| M9 | 15,34 ±0,65 | 3,23 ±0,51 | 1,0 ±1,2 | 18 ±2 | 1 ±3 |
| M10 | 15,30 ±0,65 | 3,25 ±0,51 | 1,0 ±1,2 | 18 ±2 | 1 ±3 |
| M11 | 15,47 ±0,65 | 3,26 ±0,51 | 1,1 ±1,2 | 20 ±2 | 2 ±3 |
| M12 | 15,43 ±0,65 | 3,25 ±0,51 | 1,0 ±1,2 | 21 ±2 | 2 ±3 |
| M13 | 15,50 ±0,65 | 3,21 ±0,51 | 0,9 ±1,2 | 21 ±2 | 2 ±3 |
| M14 | 15,54 ±0,65 | 3,17 ±0,51 | 0,9 ±1,2 | 22 ±2 | 2 ±3 |
| M15 | 15,52 ±0,65 | 3,16 ±0,51 | 0,9 ±1,2 | 22 ±2 | 2 ±3 |

* Akreditirane metode Laboratorija za mjerenje emisija

Tab. 9: Rezultati mjerenja svedeni na referentne uvjete

| Mjerenje | Q_{ref} | CO_{ref} | $NO_{x,ref}$ | $SO_{2,ref}$ |
|----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | m ³ /s | mg/m ³ | mg/m ³ | mg/m ³ |
| M1 | 73,6 ±8,8 | 0,7 ±1,3 | 23 ±3 | 1 ±3 |
| M2 | 73,2 ±8,8 | 0,6 ±1,3 | 24 ±3 | 1 ±3 |
| M3 | 72,7 ±8,8 | 0,8 ±1,3 | 24 ±3 | 2 ±3 |
| M4 | 72,8 ±8,8 | 1,0 ±1,3 | 24 ±3 | 2 ±3 |
| M5 | 73,2 ±8,8 | 1,0 ±1,3 | 23 ±3 | 2 ±3 |
| M6 | 98,7 ±11,6 | 1,0 ±1,3 | 18 ±3 | 1 ±3 |
| M7 | 98,5 ±11,6 | 1,0 ±1,3 | 19 ±3 | 1 ±3 |
| M8 | 98,4 ±11,6 | 1,1 ±1,3 | 19 ±3 | 1 ±3 |
| M9 | 98,8 ±11,6 | 1,1 ±1,3 | 19 ±3 | 1 ±3 |
| M10 | 98,1 ±11,5 | 1,0 ±1,3 | 19 ±3 | 1 ±3 |
| M11 | 110,0 ±13,2 | 1,2 ±1,3 | 22 ±3 | 2 ±3 |
| M12 | 110,8 ±13,2 | 1,1 ±1,3 | 23 ±3 | 2 ±3 |
| M13 | 109,5 ±13,2 | 1,0 ±1,3 | 23 ±3 | 2 ±3 |
| M14 | 108,5 ±13,2 | 1,0 ±1,3 | 24 ±3 | 2 ±3 |
| M15 | 108,1 ±13,1 | 1,0 ±1,3 | 24 ±3 | 2 ±3 |

6.2. MJERNI PRESJEK PT2

5. i 6. lipnja 2025. godine u mjernom presjeku PT2 izvršeno je petnaest mjerenja (M1-M15): temperature (ϑ), tlaka (p), brzine dimnih plinova (v) te volumnih udjela CO_2 , CO , NO_x i O_2 u suhim dimnim plinovima.

Rezultati mjerenja veličina u ispustu i rezultati izračuna sadržaja vlage (H_2O) u dimnim plinovima dani su u tab. 10, a rezultati mjerenja sastava suhих dimnih plinova dani su u tab. 11. Uz vrijednosti svih izmjerenih veličina iskazana je proširena mjerna nesigurnost (uz razinu pouzdanosti od 95 %).

U tab. 12 su dani rezultati mjerenja i mjerna nesigurnost rezultata (nivo pouzdanosti 95 %) svedeni na referentne ili tzv. GVE uvjete, odnosno rezultati i mjerna nesigurnost su iskazani za suhe dimne



plinove kod normiranog stanja (1013,25 hPa i 0 °C) i 15 % kisika u suhim dimnim plinovima. Svođenje na referentne ili tzv. GVE uvjete vrši se na sljedeći način:

$$C_{\text{ref}} = C_{\text{n,sdp}} \cdot \frac{21 \% - 15 \%}{21 \% - O_2}, \quad (5)$$

$$Q = v \cdot A, \quad (6)$$

$$Q_{\text{ref}} = Q \cdot \frac{273,15}{\vartheta + 273,15} \cdot \frac{p}{1013,25} \cdot \frac{100 \% - H_2O}{100 \%} \cdot \frac{21 \% - O_2}{21 \% - 15 \%}, \quad (7)$$

gdje je:

- $C_{\text{n,sdp}}$; mg/m³; izmjerena masena koncentracija emisije (CO ili NO_x) u suhim dimnim plinovima kod (približno) normiranog stanja (0 °C i 1013,25 hPa),
- C_{ref} ; mg/m³; masena koncentracija emisije (CO ili NO_x) po jedinici volumena suhих dimnih plinova (H₂O = 0 %) kod normiranog stanja (0 °C i 1013,25 hPa) i referentnog volumnog udjela kisika u suhim dimnim plinovima od 15 %,
- Q ; m³/s; izmjereni volumni protok vlažnih dimnih plinova (H₂O) kod temperature (ϑ), tlaka (p) i volumnog udjela kisika (O₂) u ispustu,
- Q_{ref} ; m³/s; volumni protok suhих dimnih plinova (H₂O = 0 %) kod normiranog stanja (0 °C i 1013,25 hPa) i volumnog udjela kisika u suhim dimnim plinovima od 15 %,
- v ; m/s; izmjerena brzina dimnih plinova u ispustu,
- A ; 6,9 m²; površina poprečnog mjernog presjeka ispusta PT2.

Tab. 10: Rezultati mjerenja u mjernom presjeku PT2

| Mjerenje | ϑ^* | p | v^* | H_2O |
|----------|---------------|--------|-----------|--------|
| | °C | hPa | m/s | % |
| M1 | 139 ±1 | 994 ±6 | 16,3 ±0,2 | 7,86 |
| M2 | 132 ±1 | 993 ±6 | 16,1 ±0,2 | 7,91 |
| M3 | 129 ±1 | 994 ±6 | 15,7 ±0,2 | 7,90 |
| M4 | 129 ±1 | 993 ±6 | 15,7 ±0,2 | 7,91 |
| M5 | 129 ±1 | 993 ±6 | 15,6 ±0,2 | 7,98 |
| M6 | 128 ±1 | 996 ±6 | 20,7 ±0,2 | 8,40 |
| M7 | 135 ±1 | 996 ±6 | 20,9 ±0,2 | 8,35 |
| M8 | 136 ±1 | 997 ±6 | 20,9 ±0,2 | 8,35 |
| M9 | 135 ±1 | 997 ±6 | 21,0 ±0,2 | 8,40 |
| M10 | 135 ±1 | 997 ±6 | 20,9 ±0,2 | 8,45 |
| M11 | 136 ±1 | 996 ±6 | 23,6 ±0,2 | 8,45 |
| M12 | 137 ±1 | 996 ±6 | 23,4 ±0,2 | 8,44 |
| M13 | 137 ±1 | 995 ±6 | 23,3 ±0,2 | 8,39 |
| M14 | 137 ±1 | 995 ±6 | 23,2 ±0,2 | 8,33 |
| M15 | 137 ±1 | 994 ±6 | 23,2 ±0,2 | 8,26 |



Tab. 11: Rezultati mjerenja sastava suhих dimnih mjernog presjeka PT2

| Mjerenje | O_2^* | CO_2^* | CO^* | NO_x^* kao NO_2 | SO_2^* |
|----------|-------------|------------|-------------------|------------------------|-------------------|
| | % | % | mg/m ³ | mg/m ³ | mg/m ³ |
| M1 | 14,51 ±0,65 | 3,68 ±0,51 | 0,3 ±1,2 | 26 ±2 | 2 ±3 |
| M2 | 14,50 ±0,65 | 3,67 ±0,51 | 0,0 ±1,2 | 25 ±2 | 2 ±3 |
| M3 | 14,45 ±0,65 | 3,64 ±0,51 | 0,1 ±1,2 | 25 ±2 | 1 ±3 |
| M4 | 14,45 ±0,65 | 3,64 ±0,51 | < 0,01 | 25 ±2 | 2 ±3 |
| M5 | 14,44 ±0,65 | 3,65 ±0,51 | < 0,01 | 25 ±2 | 2 ±3 |
| M6 | 14,12 ±0,65 | 4,07 ±0,51 | 0,5 ±1,2 | 24 ±2 | 3 ±3 |
| M7 | 14,14 ±0,65 | 4,05 ±0,51 | 0,5 ±1,2 | 24 ±2 | 2 ±3 |
| M8 | 14,16 ±0,65 | 4,04 ±0,51 | 0,5 ±1,2 | 24 ±2 | 1 ±3 |
| M9 | 14,17 ±0,65 | 4,02 ±0,51 | 0,5 ±1,2 | 25 ±2 | 1 ±3 |
| M10 | 14,18 ±0,65 | 4,01 ±0,51 | 0,5 ±1,2 | 25 ±2 | 1 ±3 |
| M11 | 14,23 ±0,65 | 3,96 ±0,51 | 0,2 ±1,2 | 29 ±2 | 1 ±3 |
| M12 | 14,24 ±0,65 | 3,95 ±0,51 | 0,1 ±1,2 | 29 ±2 | 1 ±3 |
| M13 | 14,24 ±0,65 | 3,93 ±0,51 | 0,1 ±1,2 | 29 ±2 | 1 ±3 |
| M14 | 14,24 ±0,65 | 3,93 ±0,51 | 0,0 ±1,2 | 29 ±2 | 1 ±3 |
| M15 | 14,22 ±0,65 | 3,92 ±0,51 | 0,1 ±1,2 | 29 ±2 | 2 ±3 |

* Akreditirane metode Laboratorija za mjerenje emisija

Tab. 12: Rezultati mjerenja svedeni na referentne uvjete

| Mjerenje | Q_{ref} | CO_{ref} | $NO_{x ref}$ |
|----------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | m ³ /s | mg/m ³ | mg/m ³ |
| M1 | 73,0 ± 7,6 | 0,3 ±1,1 | 24 ±3 |
| M2 | 73,4 ± 7,6 | 0,0 ±1,1 | 23 ±3 |
| M3 | 72,7 ± 7,5 | 0,1 ±1,1 | 23 ±3 |
| M4 | 72,7 ± 7,5 | < 0,01 | 23 ±3 |
| M5 | 72,3 ± 7,4 | < 0,01 | 23 ±3 |
| M6 | 100,8 ± 9,8 | 0,4 ±1,0 | 21 ±3 |
| M7 | 99,6 ± 9,7 | 0,4 ±1,1 | 21 ±3 |
| M8 | 99,3 ± 9,7 | 0,4 ±1,1 | 21 ±3 |
| M9 | 99,8 ± 9,8 | 0,5 ±1,1 | 22 ±3 |
| M10 | 99,1 ± 9,7 | 0,5 ±1,1 | 22 ±3 |
| M11 | 110,3 ± 10,9 | 0,2 ±1,1 | 25 ±3 |
| M12 | 108,9 ± 10,8 | 0,1 ±1,1 | 25 ±3 |
| M13 | 108,4 ± 10,7 | 0,0 ±1,1 | 25 ±3 |
| M14 | 108,0 ± 10,7 | 0,0 ±1,1 | 25 ±3 |
| M15 | 108,2 ± 10,7 | 0,1 ±1,1 | 26 ±3 |



PRILOG

B. Plan mjerenja





PLAN MJERENJA EMISIJA IZ MJERNIH PRESJEKA KOTLOVA NA OTPADNU TOPLINU PLINSKIH TURBINA BLOKA L EL-TO ZAGREB

Oznaka plana mjerenja: L-I-02-2231/25-P

Zagreb, 14. 5. 2025.



Naručitelj: Siemens d.d.
Heinzelova 70a
10000 Zagreb

Radni nalog: I-02-2231

Vlasnik izvora: FATA S.P.A. - Podružnica Zagreb za gradnju
Rapska 46/b
10000 Zagreb

Objekt: Ispusti dimnih plinova kotlova na otpadnu toplinu plinskih turbina PT1
i PT2 bloka L EL-TO Zagreb

Lokacija: EL-TO Zagreb, Zagorska ulica 1

Vrsta mjerenja: emisijska

Svrha: Mjerenja emisija onečišćujućih tvari u zrak iz mjernih presjeka kotlova
na otpadnu toplinu plinskih turbina bloka L radi umjeravanja uređaja
za kontinuirano mjerenje emisija prema normi HRN EN 14181:2014.



SADRŽAJ

| | |
|---|-----------|
| 1. SVRHA MJERENJA..... | 17 |
| 1.1. NARUČITELJ..... | 17 |
| 1.2. ODGOVORNE OSOBE NARUČITELJA / VLASNIKA..... | 17 |
| 1.3. LOKACIJA MJERENJA..... | 18 |
| 1.4. MJERENA POSTROJENJA..... | 18 |
| 1.5. PLANIRANI TERMIN I UVJETI MJERENJA..... | 18 |
| 1.6. OSOBE KOJE ĆE SUDJELOVATI NA MJERENJU..... | 20 |
| 2. POSTROJENJE..... | 20 |
| 2.1. OPIS POSTROJENJA..... | 20 |
| 2.2. SASTAV GORIVA..... | 20 |
| 2.3. UREĐAJI ZA ODVOĐENJE I SMANJIVANJE EMISIJE OTPADNIH PLINOVA..... | 21 |
| 3. MJERNA MJESTA..... | 21 |
| 3.1. MJERNI PRESJECI..... | 23 |
| 4. MJERNE METODE I INSTRUMENTI..... | 24 |
| 4.1. ODREĐIVANJE STANJA OTPADNIH PLINOVA..... | 24 |
| 4.1.1 Brzina, tlak i temperatura dimnih plinova..... | 24 |
| 4.1.2 Vlažnost plinova..... | 25 |
| 4.2. MJERENJE EMISIJE PLINOVITIH TVARI..... | 25 |



1. SVRHA MJERENJA

Svrha mjerenja emisija iz ispusta dimnih plinova kotla na otpadnu toplinu KIP1 plinske turbine PT1 i kotla na otpadnu toplinu KIP2 plinske turbine PT2 bloka L EL-TO Zagreb 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 ispusta dimnih plinova kotla na otpadnu toplinu KIP1 plinske turbine PT1 (CEMS1)

| Mjerena veličina | | AMS uređaj |
|--------------------------------------|--|--|
| Vlažni plinovi (stanje u ispustu) | protok (brzina), Q | DURAG D-FL 100 (serijski broj 1295373) |
| | temperatura, ϑ | termometar Pt100 Siemens Sitrans TS500 |
| | tlak, p | Siemens Sitrans P320 |
| | kisik, $O_{2\text{ wet}}$ | ENOTEC OXITEC 5000 |
| Suhi plinovi (normirano stanje) | ugljikov monoksid, CO | ekstraktivni višekomponentni analizatorski sustav Siemens ULTRAMAT 23 (serijski broj N1MD293) s Bühler Bunox katalitičkim konverterom za pretvorbu NO_2 u NO |
| | dušikov monoksid, NO | |
| | kisik, O_2 | |
| | sumporov dioksid, SO_2 ¹⁾ | ekstraktivni analizatorski modul Siemens SIPROCESS UV600 (serijski broj N1N1600219) |

¹⁾ Uređaj je smješten u analitičkom ormaru CEMS1, a može ga koristiti CEMS1 ili CEMS2 (može mjeriti koncentraciju SO_2 iz ispusta dimnih plinova KIP1 ili KIP2)

Tab. P 2: Pregled AMS uređaja ispusta dimnih plinova kotla na otpadnu toplinu KIP2 plinske turbine PT2 (CEMS2)

| Mjerena veličina | | AMS uređaj |
|--------------------------------------|---------------------------|--|
| Vlažni plinovi (stanje u ispustu) | protok (brzina), Q | DURAG D-FL 100 (serijski broj 1295376) |
| | temperatura, ϑ | termometar Pt100 Siemens Sitrans TS500 |
| | tlak, p | Siemens Sitrans P320 |
| | kisik, $O_{2\text{ wet}}$ | ENOTEC OXITEC 5000 |
| Suhi plinovi (normirano stanje) | ugljikov monoksid, CO | ekstraktivni višekomponentni analizatorski sustav Siemens ULTRAMAT 23 (serijski broj N1MD294) s Bühler Bunox katalitičkim konverterom za pretvorbu NO_2 u NO |
| | dušikov monoksid, NO | |
| | kisik, O_2 | |

1.1. NARUČITELJ

Siemens d.d.
Heinzelova 70a
10000 Zagreb

1.2. ODGOVORNE OSOBE NARUČITELJA / VLASNIKA

kontakt osoba: Adriano Liebhardt, mag.ing.
ured: Heinzelova 70a, 10000 Zagreb
telefon: +385 (1) 610 5022 ili 385 (91) 610 5022
e-pošta: adriano.liebhardt@siemens.com



1.3. LOKACIJA MJERENJA

EL-TO Zagreb, Zagorska ulica 1.

1.4. MJERENA POSTROJENJA

Emisije iz mjernih presjeka ispusta dimnih plinskih turbina bloka L EL-TO Zagreb.

1.5. PLANIRANI TERMIN I UVJETI MJERENJA

Prema dogovoru s *Naručiteljem* i vlasnikom postrojenja (FATA S.P.A.) paralelna mjerenja iz mjernih presjeka ispusta dimnih plinova kotlova na otpadnu toplinu plinskih turbina bloka L EL-TO Zagreb provesti će se u periodu od 4. 6. 2025. do 6. 6. 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. Izveštaji | 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 režimima rada plinskih turbina danih u tab. P 4, pri čemu je važno da prije provođenja svakog pojedinačnog mjerenja *Naručitelj* mora osigurati rad izvora onečišćenja s pretežno nepromjenjivim uvjetima rada. Planirani raspored mjerenja je dan od strane vlasnika postrojenja (FATA S.P.A.) te od 7. 6. 2025. očekuje dugotrajan prestanak rada bloka L.

Tab. P 4: Plan provedbe mjerenja

| Dan | PT1 | PT2 |
|-------------|-------------|--------------|
| 4. 6. 2025. | 50 % i 75 % | - |
| 5. 6. 2025. | 100 % | 50 % |
| 6. 6. 2025. | - | 75 % i 100 % |



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 (Siemens EMIDATE) za oba automatska mjerna sustava (veličine **CEMS1** u emisijskom računalu imaju oznaku **Kotao 1**, a veličine **CEMS2** imaju oznaku **Kotao 2**) su sljedeći:

1. minutne prosječne vrijednosti analognog signala:
 - a) O₂ (mjeren u vlažnim plinovima), mA,
 - b) O₂ (mjeren u suhim plinovima), mA,
 - c) CO, mA,
 - d) NO, mA,
 - e) protok, mA,
 - f) tlak, mA,
 - g) temperatura, mA.

2. „sirove“ minutne prosječne vrijednosti:
 - a) O₂ (mjeren u vlažnim plinovima), %,
 - b) O₂ (mjeren u suhim plinovima), %,
 - c) CO, mg/m³,
 - d) NO, mg/m³,
 - e) protok (u vlažnim plinovima i pri normiranom stanju), m³/h,
 - f) tlak, hPa,
 - g) temperatura, °C.
 - h) H₂O (izračun temeljem mjerenja kisika u vlažnim i kisika u suhim plinovima), %.

3. „normirane“ minutne prosječne vrijednosti:
 - i) CO, mg/m³,
 - j) NO_x, mg/m³,
 - k) protok, m³/h,

Također, za svako provedeno mjerenje *Naručitelj* će *Izvođaču* predati prosječne minutne vrijednosti iz sustava Siemens SPPA-T3000 u elektroničkoj formi prikladnoj za daljnju obradu u Excel-u (npr. *txt* ili *csv*). Podaci koje treba dostaviti dani su u tab. P 5.



Tab. P 5: Popis veličina iz procesnog sustava Siemens SPPA-T3000

| Naziv zapisa | KKS oznaka | Opis mjerenja | Mjerna jedinica |
|--------------|-------------------------|---------------------------|-----------------|
| EKONERG_GT1 | L1CFA10CE001 ZQ01 | Active Load | MW |
| | L1HNE01CQ002 XQ03 | O2 wet ZRSonda | % |
| | L1HNE01CQ007 XQ01 | SO2 for CEMS1 | mg/mB3 |
| | L1MBA10CP010 ZQ01 | Compressor Inlet Pressure | mbara |
| | L1MBA10FT925 ZQ01 | Compressor Inlet Temp | BOC |
| | L1MBL30CM005 ZQ01 | Ambient Air Humidity | % |
| | L1MBL30CT005 ZQ01 | Ambient Air Temp | BOC |
| | L1MBP07CF005 564007 OUT | Output Value | Nm3/h |
| | L1MBP07CF005 ZQ01 | Total Gas Fuel Flow | kg/s |
| EKONERG_GT2 | L1HNE01CQ007 XQ02 | SO2 for CEMS2 | mg/mB3 |
| | L2CFA10CE001 ZQ01 | Active Load | MW |
| | L2HNE01CQ002 XQ03 | O2 wet ZRSonda | % |
| | L2MBA10CP010 ZQ01 | Compressor Inlet Pressure | mbara |
| | L2MBA10FT925 ZQ01 | Compressor Inlet Temp | BOC |
| | L2MBL30CM005 ZQ01 | Ambient Air Humidity | % |
| | L2MBL30CT005 ZQ01 | Ambient Air Temp | BOC |
| | L2MBP07CF005 564056 OUT | Output Value | Nm3/h |
| | L2MBP07CF005 ZQ01 | Total Gas Fuel Flow | kg/s |

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 SUDJELOVATI NA MJERENJU

Voditelj tima za mjerenje: mr. sc. Željko Slavica, dipl. ing. stroj.
Andrej Slavica, mag. ing. mech.
Borna Glückselig, mag. ing. agr.
Darko Glückselig, teh.

2. POSTROJENJE

2.1. OPIS POSTROJENJA

Elektrana-toplana Zagreb (EL-TO Zagreb) je prvenstveno namijenjena proizvodnji toplinske energije, dok se električna energija proizvodi u spojnom (kogeneracijskom) procesu. Toplinska energija se isporučuje vrelodnom sustavu Grada Zagreba za podmirivanje ogrjevnog i sanitarnog konzuma (potrošna topla voda) i parnom sustavu za podmirivanje potrošnje tehnološke pare i parnog grijanja. Električna energija se proizvodi u bloku B, te u tri plinsko-turbinska kogeneracijska bloka H, J i L. Osim navedenih blokova u EL-TO Zagreb su instalirane i proizvodne jedinice direktne proizvodnje toplinske energije, vrelodni kotlovi VK3 i VK4 te niskotlačni parni kotlovi NTK1, NTK2, NTK3 i NTK4.

2.2. SASTAV GORIVA

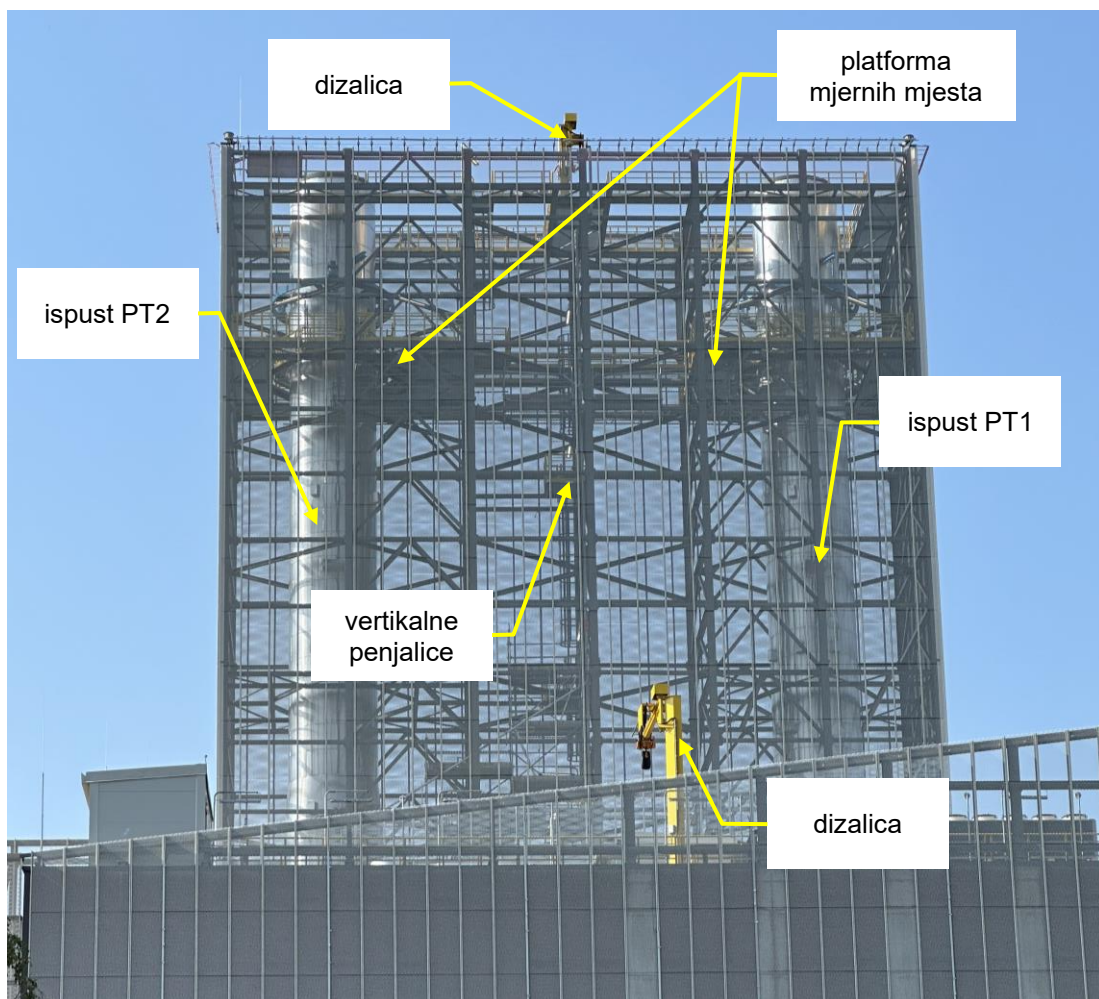
Laboratorijski izvještaj o sastavu prirodnog plina u čvornoj točki *MRS Zagreb Jug stream 1* treba preuzeti s Internet stranice operatora plinskoga transportnog sustava PLINACRO d.o.o (www.plinacro.hr).

2.3. UREĐAJI ZA ODVOĐENJE I SMANJIVANJE EMISIJE OTPADNIH PLINOVA

Za smanjenje emisije dušikovih oksida (NO_x) obje plinske turbine (PT1 i PT2) opremljene su tzv. suhim komorama izgaranja (engl. *Dry Low NO_x* - DLN). Plinske turbine ispuštaju dimne plinove kroz zasebne ispuste visine 60 m. Ispusti dimnih plinova (nakon kotla na otpadnu toplinu) nisu opremljeni uređajima za dodatno smanjenje emisija onečišćujućih tvari u zrak.

3. MJERNA MJESTA

Ispusti plinskih turbina PT1 i PT2 bloka L tehnički su identične izvedbe. Oba ispusta su visoka 60 metara. Pozicije mjernih mjesta ispusta plinskih turbina i zajedničke mjerne platforme prikazana je na sl. P 1.



Sl. P 1: Mjerna mjesta na ispustima plinskih turbina PT1 i PT2 bloka L EL-TO Zagreb

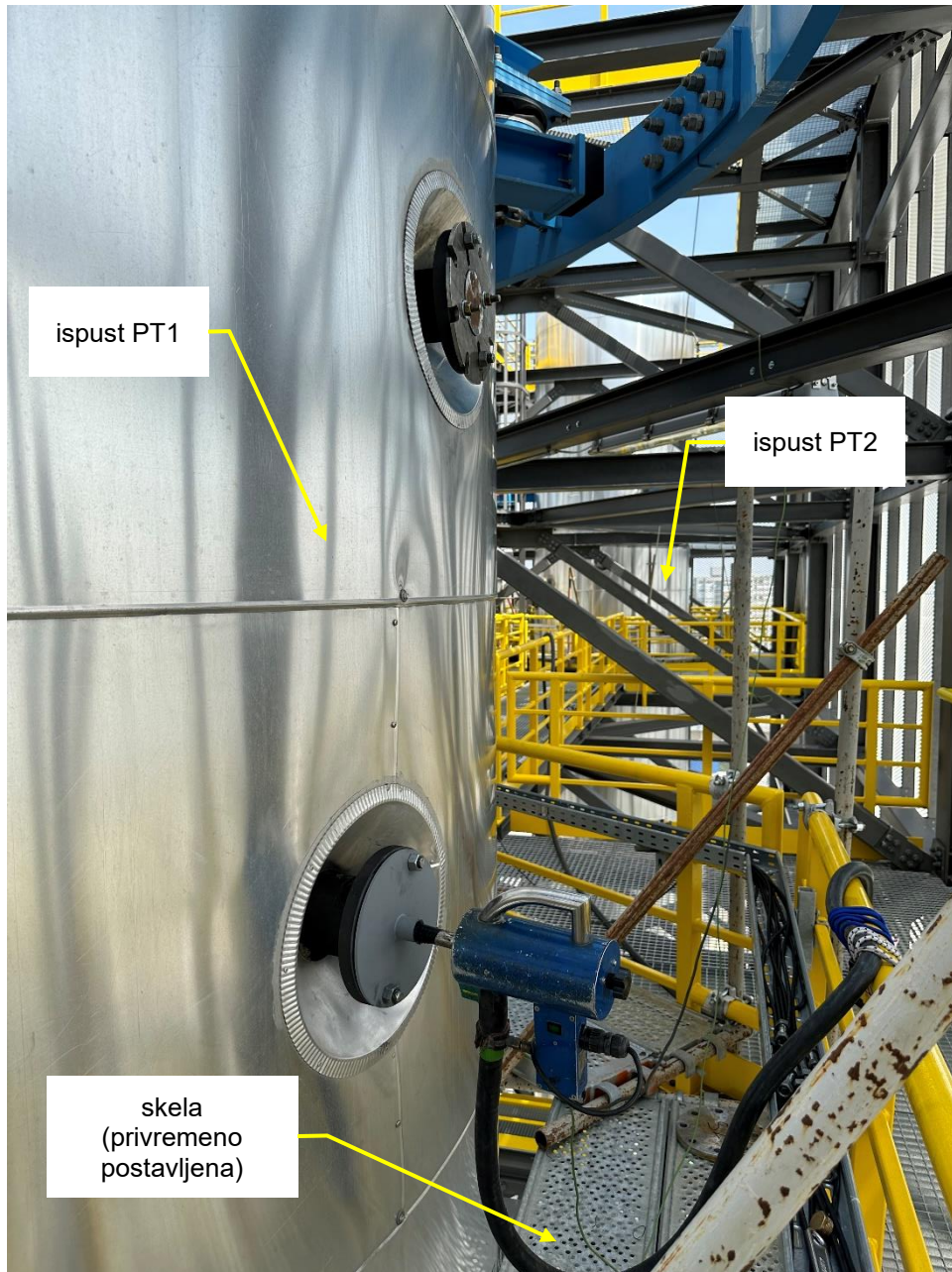
Do zajedničke platforme mjernih mjesta može se doći vertikalnim penjalicama s krova zgrade kotlovnice bloka L. Krov kotlovnice je prohodan, a šetnice su osigurane ogradom. Do krova kotlovnice vodi unutarnje stepenište. Iako unutar kotlovnice postoji lift, on ne vodi izravno do krova kotlovnice i tijekom planiranog perioda provedbe mjerenja neće biti u funkciji.

Radi transporta mjerne opreme mogu poslužiti dvije trajno postavljene dizalice. Prva dizalica služi radi transporta opreme od razine tla do krova kotlovnice, a druga dizalica omogućuje transport opreme od krova kotlovnice do zajedničke mjerne platforme (na koti 52,5 metara). Korištenje



dizalica je dozvoljeno samo ovlaštenim osobama te za njihovo korištenje treba tražiti odobrenje. Zbog slabe pristupačnosti mjernih mjesta, transport opreme je osobito dugotrajan i treba previdjeti barem jedan radni dan radi podizanja ili spuštanja mjerne opreme.

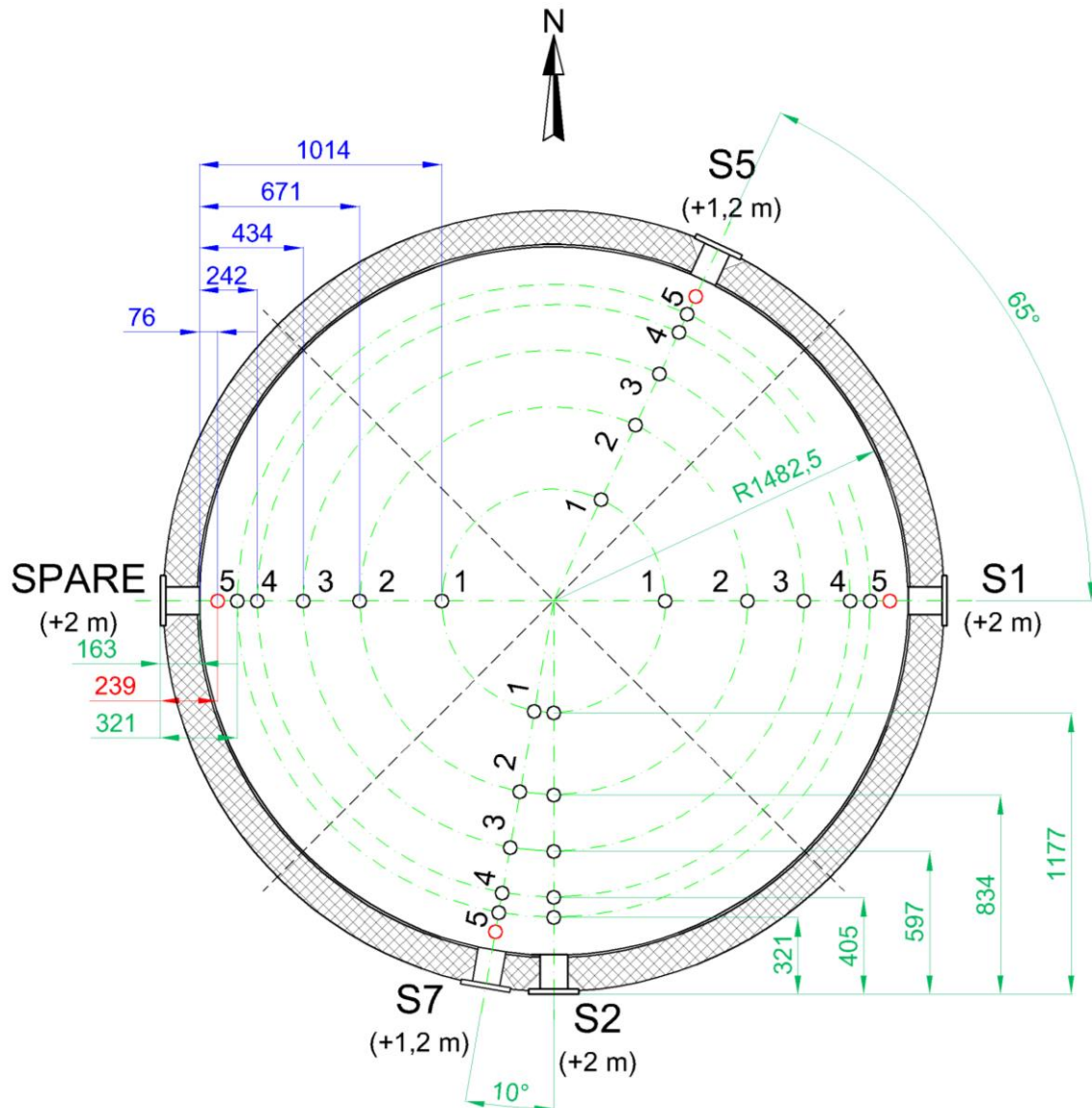
Mjerna mjesta zadovoljavaju zahtjeve norme HRN EN 15259:2008 i izvedena su tako da omogućavaju sigurno i nesmetano mjerenje, ali samo kod povoljnih vremenskih uvjeta. Prilikom pristupanja mjernim priključcima treba voditi računa o značajnom razmaku između ispusta i zajedničke mjerne platforme (vidi sl. P 2). Kako bi se spriječio rizik od pada kroz razmak između ispusta i zajedničke mjerne platforme, treba osigurati sigurnosne pojaseve ili privremenu skelu.



Sl. P 2: Pogleda na mjerna mjesta ispusta plinskih turbina PT1 i PT2 (razmak između ispusta i zajedničke mjerne platforme je pokriven privremeno postavljenom skelom)

3.1. MJERNI PRESJECI

Mjerni presjek ispusta PT1 i PT2 je kružnog oblika unutarnjeg promjera 2 965 mm. Predloženi raspored mjernih osi i mjernih točaka dan je na sl. P 3. Radi točnog mjerenja temperature i brzine uređajem SICK GRAVIMAT SHC 501, pozicija mjerne točke 5 treba biti pomaknuta 82 mm prema središtu ispusta (pozicija mjerne točke 5 na koti 239 mm treba biti pomaknuta na 321 mm).



Sl. P 3: Dimenzije i predloženi raspored mjernih točki po presjecima ispusta PT1 i PT2 bloka L

Temperaturu dimnih plinova i brzinu potrebno je mjeriti po presjeku u svim mjernim točkama (20 mjernih točaka).

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

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



4. MJERNE METODE I INSTRUMENTI

Umjeravanje AMS uređaja pojedinačnog mjernog presjeka (CEMS1 i CEMS2) provodit će se u trajanju do najviše mjesec dana. Minimalno neto vrijeme svih mjerenja po jednom ispustu iznosit 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 | Analizator HORIBA PG-350E (lab. oznaka E.U. 29.1), 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 | | interna metoda eLAB-PE-108 | Laboratorijski izvještaj o sastavu prirodnog plina u čvornoj točki <i>MRS Zagreb Jug stream 1</i> treba preuzeti s Internet stranice operatora plinskoga transportnog sustava PLINACRO d.o.o (www.plinacro.hr). Podatke o tlaku, temperaturi i relativnoj vlažnosti zraka treba mjeriti psihrometrom AHLBORN FNAD 46-3 ili prikupiti iz procesnog sustava Siemens SPPA-T3000. |
| brzina | | HRN EN ISO 16911-1:2013 | SICK GRAVIMAT SHC 501 (lab. oznaka E.U. 26.1). |
| temperatura | | interna metoda eLAB-PE-106 | Pt100 osjetnik u sklopu SICK GRAVIMAT-a SHC 501 (lab. oznaka E.U. 26.1). |
| 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 Brzina, tlak i temperatura dimnih plinova

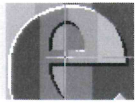
Najmanje 15 mjerenja brzine strujanja dimnih plinova, tlaka i temperature plinova provesti će se istovremeno u 20 točaka mjernog presjeka u neto trajanju od 40 minuta (2 minute po točki) uređajem SICK GRAVIMAT SHC 501 (lab. oznaka E.U. 26.1.) prema radnom postupku *eLAB-PE-105 - Mjerenje emisija krutih čestica GRAVIMAT-om*.

Tlak plinova (p , hPa) u mjernom presjeku PT1 i PT2 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 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 odredit će se na temelju izmjerenih veličina (p_{10} , p_0 , ϑ) SICK GRAVIMAT-om SHC 501, analizatorom PG-350E ili PG-350EU izmjerenog volumnog sastava suhih dimnih plinova (O_2 , CO_2 , ostatak N_2) i izračunatog volumnog udjela vodene pare u dimnim plinovima (H_2O).

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

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

4.1.2 Vlažnost plinova

Volumni udio vodene pare (vlage) u dimnim plinovima (H_2O) izračunati će se prema internoj metodi *eLAB-PE-108 Računsko određivanje vlage*. Radi potreba izračuna bit će korišten izvještaj o kvaliteti prirodnog plina distribucijskog sustava tvrtke PLINACRO d.o.o. (www.plinacro.hr). Tlak, temperaturu i relativnu vlažnost zraka treba mjeriti psihrometrom AHLBORN FNAD 46-3 ili prikupiti iz procesnog sustava Siemens SPPA-T3000 prema KKS oznakama danim u tab. P 5.

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 40 minuta (paralelno s mjerenjima brzine) prema radnom postupku: *eLAB-PE-101 - Uzorkovanje plinova radi određivanja koncentracije*.

Za provjeru analizatora plinova treba koristiti dušik klase 5,0 (provjera nule) i plinske mješavine koje što bliže odgovaraju sastavu plinova u ispustu (očekivane koncentracije su $O_2 \cong 15\%$, $CO \cong 3 \text{ mg/m}_n^3$, $SO_2 \cong 3 \text{ mg/m}_n^3$ i $NO_x \cong 30 \text{ mg/m}_n^3$).

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

Tehnički odgovorna osoba:

Andrej Slavica, mag. ing. mech.