

# Obratovalni monitoring emisije snovi v zrak iz sežigalnic

Jurij Čretnik  
RACI d.o.o.  
Jamova cesta 39, 1000 LJUBLJANA  
jurij.cretnik@raci.si

## *Monitoring of emissions into the air from incineration plants*

***Abstract: Environment protection is more and more important in our society. Waste incinerators are obliged to establish emission monitoring into the air according to Slovenian legislation i.e. Regulation on the emission of substances into the air from waste incinerators and by co-incineration of waste. Mentioned Slovenian regulation is already harmonised with EU directive 2000/76 on the incineration of waste. In the paper continuous emission monitoring system (CEMS) for incinerators is presented.***

## 1 Uvod

Slovenska zakonodaja za nepremične vire onesnaževanja zahteva obratovalni monitoring emisije snovi v zrak [1]. Prve meritve in emisijski monitoring mora zavezanec zagotavljati kot trajne meritve in/ali občasne meritve. Obseg meritev koncentracije snovi v odpadnih plinih, parametrov stanja odpadnih plinov in drugih emisijskih veličin se določi na način predpisan s pravilnikom[3]. Zavezanec mora na vsakem izpustu odpadnih plinov iz vira onesnaževanja urediti stalno merilno mesto, ki je dovolj veliko, dostopno ter opremljeno, tako da je meritve mogoče izvajati merilno neoporečno, tehnično ustrezno in brez nevarnosti za izvajalca meritev. Merilno mesto mora ustrezati zahtevam standardov in mora omogočati namestitev dodatnih merilnih naprav za nadzor poteka meritev.

Za meritve parametrov stanja odpadnih plinov in koncentracije snovi v odpadnih plinih se uporabljajo metode določene s standardi. Za meritve se lahko uporabljajo tudi druge preskusne metode, če so rezultati validacij teh

metod enaki rezultatom validacij metod iz standardov. Za izvajanje emisijskega obratovalnega monitoringa se uporablja oprema, ki ustreza stanju tehnike. Merilne naprave za izvajanje trajnih meritev morajo imeti:

- zgornjo mejo merjenja, ki je najmanj 2,5-krat večja od predpisane mejne vrednosti za koncentracijo snovi, ki se jo z napravo meri,
- avtomatsko interno preverjanje delovanja,
- možnost ročnega preverjanja delovanja.

Merilne naprave je potrebno redno justirati in izvajati kalibracijo najmanj enkrat vsaka tri leta.

Zavezanec za zagotovitev emisijskega obratovalnega monitoringa je določen s predpisi o emisiji snovi v zrak iz nepremičnih virov onesnaževanja [1]. Monitoring je torej obvezen, če emitirana količina vsaj enega onesnaževala presega zakonsko podano mejno količino ali je presežena predpisana vhodna toplotna moč naprave.

Izvedba monitoringa obsega:

- vzorčenje odpadnih plinov,
- merjenje vsebnosti snovi v odpadnih plinih ter preračunavanje rezultatov meritev na enoto prostornine suhih ali mokrih odpadnih plinov pri normnih pogojih in na predpisano računsko vsebnost kisika v odpadnih plinih, če je njena vrednost za posamezni vir onesnaževanja določena s predpisi o emisiji snovi v zrak,
- merjenje in vrednotenje parametrov stanja odpadnih plinov in obratovalnih parametrov,
- merjenje in izračun količine snovi v odpadnih plinih, emisijskih deležev, stopnje razžveplanja in emisijskih faktorjev, če je s predpisi o emisiji snovi v zrak zanje določena mejna vrednost,
- izdelavo poročila o opravljenih meritvah.

Obratovalni monitoring je sestavljen iz meritev in vrednotenja rezultatov meritev.

Trajne meritve emisije so obvezne, kadar je prekoračena mejna količina za katero koli od snovi, za katero so predpisane trajne meritve. Trajne meritve se izvajajo s kontinuirnimi merilniki, ki omogočajo avtomatsko merjenje. V primeru avtomatskega merjenja zakonodaja zahteva tudi avtomatsko vrednotenje.

Trajne meritve zavezanec zagotavlja s sistemom trajnega obratovalnega monitoringa (Continuous Emission Monitoring System - **CEMS**), ki sestoji iz:

1. sistema za avtomatsko merjenje (Automated Measuring System - **AMS**) in
2. sistema za avtomatsko vrednotenje (Automated Evaluation Systems - **AES**).

Tako AMS kot tudi AES morata biti ustrezno certificirana, implementirana in vzdrževana.

## 2 Sežigalnice odpadkov

Obseg obratovalnega monitoringa za sežigalnice odpadkov je določen z 19. členom Uredbe o emisiji snovi v zrak iz sežigalnic odpadkov in pri sosežigu odpadkov [2]. Obvezne so trajne meritve:

1. onesnaževal:
  - CO - ogljikov monoksid;
  - NO<sub>x</sub> - dušikovi oksidi, izraženi kot NO<sub>2</sub>;
  - SO<sub>2</sub> - žveplov dioksid;
  - prah – kot skupni prah;
  - TOC - skupni organski ogljik;
  - HCl - klor in spojine klora v plinasti fazi, izražene kot HCl;
  - HF - fluor in spojine fluora v plinasti fazi, izražene kot HF;
2. obratovalnih parametrov:
  - zgorevalna temperatura;
  - O<sub>2</sub> - koncentracija kisika,
3. parametrov stanja zgorevalnih plinov:
  - O<sub>2</sub> - koncentracija kisika;
  - tlak zgorevalnih plinov;
  - temperatura zgorevalnih plinov;
  - vlaga zgorevalnih plinov;
  - pretok zgorevalnih plinov.

Obvezne so tudi občasne meritve težkih kovin ter dioksinov in furanov.

## 3 Zahteve za merilno opremo

Z merilno opremo so postavljene naslednje zahteve:

1. zakonske:
  - nizka meja detekcije (low detection limits);
  - visoka selektivnost (high selectivity);
  - velika linearnost (high linearity);
  - visoka ponovljivost (high repeatability);
  - velika stabilnost (high stability);
  - hiter odziv (fast response);
  - visoka razpoložljivost (> 90 %);
2. stroški:
  - nizki stroški po merilni komponenti (low cost per component);
  - majhne zahteve vzdrževanja (low maintenance cost);
  - visoka razpoložljivost (high availability);
  - enostavno upravljanje (easy control);
3. uporaba:
  - enostavna razširljivost (easy expansion);
  - kompletna rešitev – po možnosti samo en dobavitelj (one supplier);
  - kompetentna in razpoložljiva podpora (service).

Zakonske zahteve najlažje preverimo tako, da preverimo certifikate merilne opreme. Za sežigalnice morajo merilne naprave imeti certifikat na primer nemškega TÜV, da izpolnjujejo zahteve 17. BImSchV. Težje preverimo stroške. Vendar se je potrebno zavedati, da strošek nabave avtomatskega merilnega sistema pomeni le približno 30 % stroškov sistema v njegovi življenjski dobi. Zato je zelo pomembno, da je zagotovljen zanesljiv in kvaliteten servis, po možnosti enega proizvajalca ali izvajalca, saj se s tem močno znižajo stroški ter poveča razpoložljivost avtomatskega merilnega sistema. Pomembna je tudi možnost daljinskega upravljanja in nadziranja merilnih sistemov, vendar to ne odpravlja zahtev po vzdrževanju sistema na licu mesta. Pomembno je tudi enostavno upravljanje merilnih naprav, saj se je potrebno posvetiti tudi drugim nalogam. Vse pomembnejša je tudi možnost kasnejše razširitve meritev na dodatne komponente, saj se zahteve po nadzoru onesnaževal stalno povečujejo.

#### 4 Merilna oprema

Zakonodaja predpisuje stalen nadzor obratovalnih parametrov, to je trajno meritev temperature sežiga in koncentracije kisika v zgorevalni komori, da se zagotovi popolni sežig. Zaradi visokih temperatur in zelo agresivnega medija je praktično edina merilna metoda za merjenje koncentracije kisika cirkonijeva sonda. Le-te se lahko vgradijo direktno v kanal ali pa v ustrezne zaščitne cevi. Uporabi se lahko tudi novejši kombiniran merilnik s trdim elektrolitom ( $ZrO_2$ ) za meritev koncentracije  $O_2$  in s polprevodniškim senzorjem ( $Ga_2O_3$ ) za meritev CO oziroma nezgorelih komponent (combustibles).

Pred izpustom zgorevalnih plinov v ozračje je potrebno trajno meriti koncentracije onesnaževal: CO,  $NO_x$ ,  $SO_2$ , HCl, HF. Trajno meritev je mogoče izvesti s klasičnimi NDIR in NDUV analizatorji, vendar sodobna FTIR metoda prinaša vrsto prednosti, predvsem bistveno pocenitev in poenostavitev merilnega sistema. Sama merilna metoda sicer ni nova, vendar je razvoj tehnike, predvsem mikroprocesorjev omogočil, da se je uveljavila tudi v industriji. Sistem ACF-NT (proizvajalec ABB) prikazan na sliki 1 razen IR komponent (CO, NO,  $NO_2$ ,  $N_2O$ ,  $SO_2$ , HCl, HF,  $NH_3$ ,  $H_2O$ ,  $CO_2$ ) meri tudi TOC in  $O_2$ , saj ima integriran FID analizator in cirkonijevo sondo. Sistem je zelo kompakten in ima enovito upravljanje, poznano iz sistema Advance Optima. Sistemu je mogoče brez težav dodati tudi trajno meritev Hg.

Razen plinskih komponent je potrebno na izpustu meriti tudi skupni prah. Naprave za merjenje prahu delujejo na naslednje načine:

- merjenje motnosti (opacity) – absorbcija svetlobe;
- dinamično merjenje motnosti (dynamic opacity – scintillation);
- odboj svetlobe (scatter light);
- radioaktivna meritev – beta žarki;
- triboelektrični princip (DC) in elektrodinamični (triboelektrični) princip (AC).

Klasične optične merilne metode danes izpodrivata zadnji dve merilni metodi, ki temeljita na električnem naboju delcev oziroma elektromagnetnem polju le teh. Merilniki so



Slika 1: Sistem ACF-NT v LEK Lendava.

zelo enostavni za montažo in imajo vrsto prednosti pred optičnimi merilniki (slika 2). Ne moremo pa ju uporabljati za elektrofiltri.

Za potrebe izračuna količin, je potrebno meriti tudi pretok zgorevalnih plinov. Pretok je mogoče meriti z ultrazvočnimi merilniki, vendar je še vedno najbolj zanesljiva klasična metoda z zastojno cevjo.



Slika 2: Elektrodinamičen merilnik koncentracije prahu.

## 5 Sistem vrednotenja

Za sežigalnice ureja izračun in vrednotenje rezultatov meritev 10. člen Uredbe o emisiji snovi v zrak iz sežigalnic odpadkov in pri sosežigu odpadkov [2]. Polurne povprečne vrednosti in 10-minutne povprečne vrednosti se določajo iz vrednosti koncentracij, izmerjenih v dejanskem času sežiganja odpadkov tako, da se izključi čas zagona in zaustavitve sežiga. Pri podajanju emisije je potrebno upoštevati protokol [4]. Protokol opredeljuje način zbiranja in obdelave podatkov, ki jih posredujejo sistemi za avtomatsko merjenje. Avtomatsko vrednotenje je v osnovi validiran računalniški program, ki ustrezno izvaja protokolne algoritme: zajemanja podatkov, povprečenja, izračunavanja, vrednotenja, izpisovanja, posredovanja podatkov in arhiviranja podatkov. Zajemanje podatkov omogoča ustrezna strojna in programska oprema. AES sistem za vrednotenje EMIDATE (proizvajalec SIEMENS, slika 3) je modularno zasnovan in omogoča pokrivanje posameznega ali več virov onesnaževanja in sicer iz enega ali več delovnih mest. Pri tem so uporabljene vse zmogljivosti, ki jih nudita sistem SIMATIC (ET 200M) in industrijska mreža PROFIBUS. Osnovni gradnik je osebni računalnik (PC) s programskim paketom EMIDATE 2000 V5.5 SLO, ki ga v Sloveniji uporablja 5 zavezancev, prvi od leta 1999. Za razliko od običajnih sistemov za vizualizacijo in zbiranje podatkov, je sistem EMIDATE specialno razvit program za sisteme vrednotenja in kot takšen omogoča uporabniku vrsto prednosti. Poleg zakonsko predpisanih protokolov, omogoča tudi prediktivno izračunavanje emisije in tako pravočasno poseganje uporabnika v vodenje procesa. Na voljo je seveda tudi arhiv in izvoz podatkov v obliki XLS ali CSV.

## 6 Zagotavljanje kakovosti AMS

Leta 2004 je izšel CEN standard EN 14181, ki zagotavlja sistem kakovosti avtomatskih merilnih sistemov AMS. Omenjeni standard predstavlja nov pristop k zagotavljanju kakovosti AMS. Standard je nastal na osnovi nemških smernic VDI 2066 in VDI 3950, mednarodnega standarda ISO 10155 in severno-



Slika 3: AES EMIDATE v LEK Lendava.

ameriških zahtev RATA. CEN standard EN 14181 zagotavlja (providing):

- ustrezno merilno opremo (Suitable Instruments);
- primerljivo merilno opremo (Comparable Instruments);
- pravilno instalacijo (Error-free Installations);
- trajno kakovost obratovanja opreme (Ongoing Quality Assurance during Operation).

Standard EN 14181 ima štiri nivoje zagotavljanja kakovosti (slika 4):

**QAL 1** ustreznost opreme (Suitability of Equipment):

- ugotavljanje lastnosti (Performance Evaluations);
- izračun merilne negotovosti (Uncertainty Calculations);

**QAL 2** oprema je pravilno instalirana, kalibrirana in pravilno deluje (Correct Installed, Calibrated and Functional):

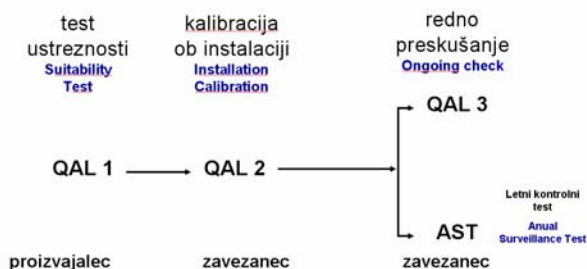
- primerjalni testi (Reference Tests);
- funkcionalna kontrola (Functionality Checks);
- kalibracijska funkcija (Calibration Function);
- test variabilnosti (Variability Test)
- izračun merilne negotovosti (Uncertainty Calculations)

**QAL 3** stabilno delovanje opreme (Stability Performance):

- Zero drift;
- Span drift;

**AST** letna kalibracija in test funkcionalnega delovanja opreme (Annual Calibration and Functionality Test):

- glej QAL 2;
- “majhna” kalibracija.



Slika 4: CEN standard EN 14181 grafično.

Prvi nivo kakovosti QAL 1 izkazuje proizvajalec s certifikatom o skladnosti opreme, ki:

- specificira ustreznost merilne opreme z izračunom merilne negotovosti opreme z upoštevanjem standarda EN ISO 14956 pred vgradnjo:
  - standardna deviacija (Standard deviation);
  - odstopanje od linearnosti (Deviation from linearity);
  - ponovljivost (Repeatability);
  - odstopanje (Drift);
  - temperaturna odvisnost (Temperature dependency);
  - napetostna odvisnost (Voltage dependency);
- podaja pridobljene podatke preko organa za ugotavljanje skladnosti (“TUV preskus” oz. certifikat):
  - prečni vpliv (Cross-sensitivity);
  - meja detekcije (Detection Limit);
  - odzivni čas (Response Time);
  - modelne posebnosti (Design Features).

Drugi nivo kakovosti zagotavlja ustreznost po vgradnji (QAL 2 - Suitability after Installation):

- izbor merilnega mesta (Selection of Measuring Location);
- vgradnjo merilne opreme (Installation of the Instrument);

- izbor merilnega območja (Selection of Measuring Range);

- kalibracijo merilne opreme z uporabo referenčne metode (Calibration of the Instrument using Standard Reference Method);

na primer za prah:

- najmanj 15 paralelnih meritev, vsaka v trajanju od 0,5 do 1 ure, z zamikom 0,5 ure,
- porazdeljene na 3 dni znotraj največ 4 tednov,
- izvajalec naj bi bil akreditiran po ISO 17025,

- določitev kalibracijskih krivulje ali krivulj, če so obratovalni pogoji različni (gorivo, obtežba, itd.) (Specifying the Calibration Curve or Curves, if there are Distinct Operating Conditions (fuel, load etc.));

- izračun spremenljivosti (Calculation of the Variability Expressed as  $\sigma$  at 95 % Level of Confidence);

QAL 2 se izvaja vsakih 5 let.

Tretji nivo kakovosti zagotavlja stalni nadzor (QAL 3 – Continuing Surveillance):

- nadaljevanje zagotavljanja kvalitete med obratovanjem (Ongoing Quality Assurance During Operation);
- odgovornost lastnika naprave, da zagotavlja pravilno delovanje merilne opreme (vzdrževanje) (Responsibility of the Plant Owner to Ensure the Instrument is Working Correctly - Maintenance);
- tedensko je potrebno izvajati (Check Repeated Weekly):
  - preverjati zero in span odstopanje (drift) (Zero and Span Check, Drift);
  - določevanje odstopanja (drifta) in natančnosti z uporabo kontrolnih kartic (Determining Drift and Precision Using Control Cards);
  - ugotoviti, kdaj merilna oprema potrebuje servis proizvajalca (Identify, when the instrument needs manufacturer maintenance).

Četrti nivo kakovosti zagotavlja letni nadzorstveni preskus (AST – Annual Surveillance Test):

- letno potrjevanje QAL 2 (Confirming QAL 2 Yearly);
- dokazovanje, da je kalibracijska krivulja še veljavna (Demonstration that the Calibration Curve is still valid);

- mali test funkcionalne kontrole delovanja opreme (Small Functional Test);
- kalibracija (za prah s 5 paralelnimi meritvami, porazdeljeno preko enega dneva, čas trajanja posamezne meritve od 0,5 do 1 ure);
- potrebno je ponoviti QAL 2, če AST ne uspe (QAL 2 has to be repeated if AST fails).

## 7 Zaključek

CEN standard EN 14181 Stationary source emissions, Quality assurance of automated measuring systems zahteva štiri nivoje kakovosti in sicer nivo proizvajalca opreme, nivo vgradnje opreme in dva nivoja vzdrževanja oziroma preskušanja opreme.

Prvi nivo pomeni kakovost opreme oziroma garancijo, da merilna oprema izpolnjuje meroslovne zahteve, kar poenostavljeno pomeni, da je primerna in ustrezna. Danes slovenski zavezanci lahko vgrajujejo opremo, ki ne izpolnjuje meroslovnih zahtev, ker ni ustrezne kontrole.

Drugi nivo je nivo vgradnje, ki zahteva kontrolo pravilnosti vgradnje, ustrezno kalibracijo opreme in kontrolo pravilnosti delovanja opreme. Žal danes slovenski zavezanci lahko vgrajujejo opremo na neustrezna merilna mesta. Zato je oprema, ki sicer ima ustrezne certifikate, neustrezna za določene merilne naloge. Še večji problem je potem kalibracija opreme in kontrola njenega pravilnega delovanja. Tudi tu je vzrok neustrezna kontrola s strani države.

Še večji problem predstavlja tretji nivo kakovosti, ki zahteva kontrolo stabilnosti delovanja opreme.

Četrty nivo kakovosti, imenovan s kratico AST, zahteva letno kalibracijo in test funkcionalnega delovanja opreme. V Sloveniji ni zakonsko predpisane letne funkcionalne kontrole delovanja opreme, še manj pa se izvaja kalibracija merilne opreme.

Tako imajo podjetja ustrezno in pravilno vgrajeno merilno opremo, ki pa ne deluje pravilno, ker ni pravilno vzdrževana, justirana in kalibrirana. Zagotoviti omenjeni sistem kakovosti na področju sistemov avtomatskega merjenja (AMS) emisije snovi v zrak bo tudi v evropskem prostoru pomenil velik zalogaj,

vendar pomeni bistven korak naprej k zagotavljanju kakovosti in posledično tudi k zaupanju javnosti v izvajanje obratovalnega monitoringa. Podjetja sama omenjenega sistema kakovosti brez pomoči strokovnjakov ne bodo mogla vzpostaviti. Omenjene aktivnosti bodo bistveno podražile stroške obratovalnega monitoringa, ki je zakonsko predpisan. Logično je, da zavezanci želijo čim večji dobiček, zato bodo poskušali stroške obratovalnega monitoringa minimizirati. Marsikdo se mu bo poskušal izogniti. Tu pa je naloga ustreznih državnih služb in preskusnih organov, ki bodo to preverjala. Veliko vlogo bo pri tem imela Slovenska akreditacija, katere naloga je zagotoviti nadzor nad usposobljenostjo organov za preskušanje in kontrolo izvajanja njihovega preskušanja.

Podjetje RACI d.o.o. ima dolgoletne izkušnje na področju analize plinov v procesih in pri emisiji. Nudimo sodobne, preizkušene in robustne analizne sisteme za trajne meritve, ki uporabniku zagotavljajo nizke obratovalne stroške in visoko razpoložljivost. Nudimo svetovanje, dobavo, montažo in vzdrževanje AMS sistemov. Naš cilj je blagovna znamka, ki zagotavlja visoko zanesljivost dobavljenih sistemov, razpoložljivost postrojenj ter kakovost in sledljivost meritev. Seveda je dobavljeni AMS (CEMS) sistem vedno kompromis med ceno in kakovostjo.

## 8 Literatura

- [1] Uradni list Republike Slovenije, št. 73/1994, 68/1996, 109/2001, 41/2004: Uredba o emisiji snovi v zrak iz nepremičnih virov onesnaževanja.
- [2] Uradni list Republike Slovenije, št. 50/2001, 56/2002, 84/2002, 41/2004: Uredba o emisiji snovi v zrak iz sežigalnic odpadkov in pri sosežigu odpadkov.
- [3] Uradni list Republike Slovenije, št. 70/1996, 71/2000, 99/2001, 17/2003: Pravilnik o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu emisije snovi v zrak iz nepremičnih virov onesnaževanja, ter o pogojih za njegovo izvajanje.
- [4] Uradni list Republike Slovenije št. 72/2000: Odredba o obliki poročil o meritvah v okviru obratovalnega monitoringa emisije snovi v zrak.
- [5] Jurij Čretnik: Sistemi za izvajanje trajnih meritev emisije, Avtomatika, letnik II, št. 3, Ljubljana, 2000, str. 33-36.