

# MJERNA I REGULACIJSKA TEHNIKA

Uređuje: Nenad Bolf



D. Rumenjak\*

Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja,  
Odjel za okolišnu dozvolu  
Radnička cesta 80/3  
10 000 Zagreb

## Prediktivni zamjenski parametri (PEMS) kao način praćenja emisija iz industrijskih postrojenja

### Uvod

Direktivom o industrijskim emisijama<sup>1</sup> stvoren je pravni i tehnički okvir za propisivanje uvjeta zaštite okoliša za rad industrijskih postrojenja kroz instrument okolišnih dozvola u zemljama EU-a. Uvedeno je tzv. integrirano načelo sprječavanja onečišćenja (IPPC), kroz obvezu ishođenja okolišnih dozvola za različite industrijske djelatnosti. Tehnički dokumenti te direktive, zaključci o najboljim raspoloživim tehnikama (NRT), (ali i još uvijek u primjeni znatan broj poglavlja o najboljim raspoloživim tehnikama starijih referentnih dokumenata za koje zaključci još nisu donijeti), dokumenti su kojima se određuje primjena najboljih raspoloživih tehnika za različite djelatnosti za koje je potrebno ishoditi okolišnu dozvolu, kao i za niz aktivnosti koje su zajedničke za većinu osnovnih djelatnosti (sustavi hlađenja, energetska efikasnost itd.) a ti se dokumenti bez izmjena prenose u nacionalno zakonodavstvo. U hrvatski zakonodavni okvir ta je direktiva prenesena Zakonom o zaštiti okoliša i Uredbom o okolišnoj dozvoli, kojima se propisuje obveza ishođenja okolišne dozvole te primjena najboljih raspoloživih tehnika iz zaključaka.

Tablica 1 – Tehnika NRT. 7 za proizvodnju stakla i kamene vune

i.	Kontinuirano praćenje ključnih parametara procesa kako bi se osigurao stabilnost procesa, npr. temperature, dotoka goriva i protoka zraka
ii.	Redovito praćenje parametara procesa kako bi se spriječilo/smanjilo onečišćenje, npr. udjela O <sub>2</sub> u plinovima izgaranja s ciljem kontrole omjera gorivo/zrak.
iii.	Kontinuirano mjerenje emisija krutih čestica, NO <sub>x</sub> i SO <sub>2</sub> ili povremena mjerenja najmanje dvaput godišnje, zajedno s nadomjesnim parametrima kako bi se osigurao pravilan rad sustava za obradu između mjerenja
iv.	Stalna ili redovita povremena mjerenja emisija NH <sub>3</sub> kada se primjenjuju tehnike selektivne katalitičke redukcije (SCR) ili selektivne nekatalitičke redukcije (SNCR)
v.	Stalna ili redovita povremena mjerenja emisija CO kada se za smanjenje emisija NO <sub>x</sub> primjenjuju primarne tehnike ili kemijska redukcija gorivom, ili kada se može pojaviti djelomično izgaranje
vi.	Redovita povremena mjerenja emisija HCl, HF, CO i metala, posebno kada se upotrebljavaju sirovine koje sadrže takve tvari, ili kada se može pojaviti djelomično izgaranje
vii.	Kontinuirano praćenje nadomjesnih parametara kako bi se osigurao pravilan rad sustava za obradu otpadnog plina i održavanje razina emisija između povremenih mjerenja. Praćenje nadomjesnih parametara uključuje: praćenje dovoda reagensa, temperature, dovoda vode, napona, otpušavanja, brzine ventilatora itd.

### Načini praćenja emisija koji se propisuju dozvolama

Direktivom i dokumentima koji su temeljem nje doneseni propisuju se načini praćenja emisija za industrijska postrojenja koja imaju obvezu ishođenja okolišne dozvole, kao najbolje raspoložive tehnike (NRT) praćenja emisija u okoliš, s usporedbom s graničnim vrijednostima emisija (vrednovanje rezultata mjerenja). Izravna praćenja emisija mjerenjima provode se kontinuirano i periodično. Potvrđena vrijednost rezultata (1 h) kontinuiranog mjerenja emisije u skladu s direktivom,<sup>1</sup> dodatak V. dio 3. t. 9 je:

$$V_{1h} = E_{mj} - t_{0,05} \cdot s_u \quad (1)$$

uz uvjet ograničenja intervala pouzdanosti:

$$t_{0,05} \cdot s_u \leq k \cdot GVE \quad (2)$$

gdje je  $E_{mj}$  srednja vrijednost mjerenja u vremenu uzorkovanja svedena na normalno stanje i referentne uvjete,  $s_u$  procjena standardne devijacije uzorka mjerenja u vremenu uzorkovanja svedena na normalno stanje i referentne uvjete,  $t_{0,05}$  vrijednost Studentove t-razdiobe za 95 % pouzdanost:  $(1 - \alpha) \cdot 100$  %, koja odgovara stupnju slobode kojim se određuje procjena standardne devijacije populacije mjerenja u vremenu uzorkovanja, GVE propisana granična vrijednost emisije,  $k$  koeficijent iz tablice prikazane u dodatku 5. dio 3. Praćenje emisija, t. 9. i 10. direktive. U dodatku VI. direktive dio 6. t. 1.3, izraz (1) primjenjuje se i za praćenje emisija iz energetske oporabe otpada, uz 24 h vrednovanje.

Referentnim dokumentima o načinu praćenja emisija<sup>2</sup> opisana je primjena zamjenskih parametara kao najboljih raspoloživih tehnika. Zamjenski (surogatni, nadomjesni) parametri procesni su parametri kojima se mogu pratiti emisije bez izravnih mjerenja. Osnovna podjela zamjenskih parametara je na prediktivne, indikativne i kvalitativne zamjenske parametre. Prediktivni parametri definiraju se kao parametri procesnih uvjeta čija se primjena provodi odgovarajućim modelima uz izračunavanje vrijednosti emisija za koje postoji obveza praćenja, dok su indikativni parametri oni kojima se izravno prati rad uređaja za obradu otpadnih plinova te se modeli za izračunavanje vrijednosti emisija ne primjenjuju.

Praćenje emisija zamjenskim parametrima prediktivnog tipa, opisanim kao PEMS (engl. *Predictive Emission Monitoring System*) zapravo nije ništa novo,<sup>3</sup> ali se ono sada uvodi u legislativnu praksu. Procesni parametri kojima se zamjenjuje izravno mjerenje emisija prate se kontinuirano u intervalima uzorkovanja kod propisanog vrednovanja ili uz odgovarajuću garanciju da njihova promjena u vremenu duljem od toga nije očekivana.

### Primjena prediktivnih zamjenskih parametara u okolišnim dozvolama u Hrvatskoj

U Hrvatskoj je već iskazan interes postrojenja (operatera), koji su u postupcima razmatranja uvjeta okolišne dozvole, za primjenu

\* Damir Rumenjak, voditelj odjela  
e-pošta: damir.rumenjak@mingor.hr

praćenja prediktivnim procesnim parametrima, kojima bi se zamijenila kontinuirana praćenja emisija u zrak. To su Knaf Insullation iz Novog Marofa, Rockwool iz Potpićna, Vetropack iz Huma na Sutli i DS Smith iz Belišća. Radi se o primjeni prediktivnih parametara umjesto kontinuiranog mjerenja emisija NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> i prašine prema Zaključcima o NRT-u za proizvodnju stakla,<sup>4</sup> koji sadrže i tehnike za proizvodnju mineralne vune (tablica 1), dok se u slučaju DS Smith iz Belišća (proizvodnja papira iz recikliranih vlakana) radi o primjeni Zaključaka o NRT-u za velike uređaje za loženje i tamo propisane mogućnosti praćenja emisija samo prediktivnim zamjenskim parametrima.

## Prvi primjeri primjene u okolišnim dozvolama u Hrvatskoj

Praćenje emisija prediktivnim zamjenskim parametrima iz procesnih peći odobreno je za postrojenje Knaf Insullation iz Novog Marofa za proizvodnju kamene vune, za sljedeće emisije: NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> i prašine. Potvrđena vrijednost rezultata kontinuiranog praćenja (24 h) dobivena modelom izračunavanja emisija preko modela praćenja, koji je razvijen primjenom centralnog graničnog teorema statistike, propisana je kao:

$$V_{24\text{ h}} = \bar{y} - t_{0,05} \sqrt{s^2 \left(1 + \frac{1}{n} + \frac{(y(\bar{a}_{ok}) - y(\bar{a}_k))^2}{\sum_i (y(a_{ik}) - y(\bar{a}_k))^2}\right)} \quad (3)$$

gdje je  $\bar{y}$  dobivena srednja vrijednost modela (model bilanci) kao 24-satni prosjek pojedinačnih izračuna označeno kao  $y(\dots)$ ,  $n$  broj uzoraka za utvrđivanje 24-satnog prosjeka,  $s$  procjena devijacije populacije rezultata modela dobivena kod postavljanja ili korekcije modela svedena na normalno stanje i referentne uvjet,  $\bar{a}_{ok}$  srednja vrijednost zamjenskog parametara kod praćenja (24-satni prosjek pojedinačnih opažanja, opažanja svakih pola sata),  $k$  broj zamjenskih parametara koji ulaze u model,  $a_{ik}$  pojedinačna ( $i$ ) opažena vrijednost  $k$ -tog parametra kod određivanja modela,  $\bar{a}_k$  srednja vrijednost  $k$ -tog zamjenskog parametra kod postavljanja ili korekcije modela. Modeli za izračunavanje vrijednosti emisija koji se primjenjuju u modelu praćenja (3), označeni kao  $y(\dots)$ , razvijeni su na Fakultetu kemijskog inženjerstva i tehnologije u Zagrebu, na temelju bilanci ulaza u peć (tzv. teorijski modeli), s procesnim parametrima rada peći; kemijski sastav sirovina, količina goriva i sirovina koje se ubacuju u peć, protok zraka, temperatura zraka, količina kisika, volumni udio CO u dimnim plinovima iz peći, volumni udio CO<sub>2</sub> u dimnim plinovima iz peći, temperatura dimnih plinova nakon izlaska iz peći itd. Uvjetima okolišne dozvole propisuju se, uz vrednovanje rezultata praćenja preko modela praćenja (3), i ograničenja intervala pouzdanosti. Uz te uvjete, u okolišnoj dozvoli određuje se obveza povremene

korekcije modela bilanci  $y(\dots)$  te pravila primjene izravnih mjerenja emisija u svrhu korekcije modela.

Izvedeni model praćenja (3) podloga je i za daljnji razvoj praćenja procesnim parametrima i drugim vrstama modela za izračunavanje emisija, npr. neuronske mreže, čija se primjena najavljuje za postrojenje DS Smith iz Belišća. Također, već je ranije odobren i slučaj primjene indikativnih parametara, tj. parametara rada uređaja za pročišćavanje otpadnih plinova u Tvornici Buzet, djelatnost lijevanja metala.

Svakako treba nešto reći o primjeni prediktivnih zamjenskih parametara u drugim zemljama EU-a. Za sada ne postoji niti jedan dostupan primjer preko mreže za razmjenu iskustava i prakse u primjeni direktive o industrijskim emisijama, o načinu primjene prediktivnih zamjenskih parametara. Pronađen je tek jedan primjer propisivanja uvjeta sa zamjenskim parametrima umjesto kontinuiranog praćenja emisija, ali bez navođenja o kojoj se vrsti zamjenskih parametara radi te bez propisivanja načina primjene (Slovenija, Knaf, 2016.).

## Zaključak

Praćenje emisija primjenom zamjenskih parametara, prije svega prediktivnih, ali i drugih (indikativnih, kvalitativnih), našlo je svoje mjesto u primjeni u okolišnim dozvolama u Hrvatskoj s već razrađenim načinima primjene.

Modeliranje emisija zamjenskim parametrima svakako treba promatrati u kontekstu modelskog pristupa uvjetima okolišne dozvole,<sup>5</sup> s naporima da se u dozvolama propisuju uvjeti koji služe konkretnoj regulaciji i kontroli rada te da se, s druge strane, omogućuje zakonski propisana vanjska kontrola postrojenja u pogledu sprječavanja emisija.

## Literatura

1. Direktiva o industrijskim emisijama (integrirano sprečavanje onečišćenja i nadzor) (2010/75/EU).
2. T. Brinkmann, R. Both, B. M. Scalet, S. Roudier, L. D. Sancho, JRC Reference Report on Monitoring of Emissions to Air and Water from IED Installations; EUR 29261 EN; doi: <https://doi.org/10.2760/344197>.
3. B. G. Swanson, P. Lawrence, An alternative approach to continuous compliance monitoring and turbine plant optimization using PEMS, 18<sup>th</sup> Symposium IACT, Alberta, 2009.
4. Zaključci o najboljim raspoloživim tehnikama za proizvodnju stakla (2012/134/EU).
5. D. Rumenjak, N. Ergotić, Modelski pristup u određivanju uvjeta dozvola u zaštiti okoliša (pozvano predavanje), 2<sup>nd</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE, "The Holistic Approach to Environment", Sisak, May 21<sup>st</sup> – 22<sup>nd</sup>, 2020.

## Integracija hvatanja CO<sub>2</sub> i proizvodnje mlaznog goriva iz alkohola

U tijeku je studija izvedivosti prvog komercijalnog postrojenja koje će povezivati izravno hvatanje CO<sub>2</sub> iz zraka (engl. *direct air capture* – DAC) s plinskom fermentacijom CO<sub>2</sub> i proizvodnjom zrakoplovnih goriva. LanzaTech ([www.lanzatech.com](http://www.lanzatech.com)) i Carbon Engineering ([www.carbonengineering.com](http://www.carbonengineering.com)) udružili su se u prvom takvom projektu za proizvodnju održivog zrakoplovnog goriva iz atmosferskog CO<sub>2</sub>.

Projekt AtmosFUEL nastoji integrirati tri već dokazane tehnologije: veliki DAC sustav za ekstrakciju atmosferskog CO<sub>2</sub>, tehnologiju plinske fermentacije za pretvaranje CO<sub>2</sub> u etanol i metodu pretvaranja etanola u mlazno gorivo *Alcohol-to-Jet*. Projektni tim uključuje British Airways i Virgin Atlantic Airlines.

"Studijom razmatramo kako na najbolji način povezati tehnologije da bismo nusproizvode i energiju iz jednog procesa primijenili u drugima", objašnjavaju iz *Carbon Engineeringa*.

"Zrakoplovstvo je jedna od grana koje će se najteže dekarbonizirati, a održiva rješenja imat će ključnu ulogu u energetske tranziciji."

*Carbon Engineering* trenutačno projektira više DAC sustava megatonskih kapaciteta. Koriste se već postojeću industrijsku opremu i procese kao npr. rashladne tornjeve na kojima se temelje njihovi zračni kontaktori.

Rezultati studije izvedivosti očekuju se u ožujku 2022. godine.

Izvor: <https://www.chemengonline.com>