Što treba mjeriti kod spaljivanja otpada

Cementare (suspaljivanje) i specijalizirane spalionice: sličnosti i ključne razlike

Prof. dr. sc. Branimir Hackenberger
Odjel za biologiju, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Pazin, 26. 11. 2026.

Zašto je mjerenje ključno



Zdravlje i okoliš

Dioksini, živa, teški metali i kiseli plinovi štetni su već u tragovima.



Zakonska usklađenost

IED 2010/75/EU, Prilog VI i BAT zaključci propisuju granične vrijednosti i način praćenja.



Upravljanje procesom

Podaci u stvarnom vremenu pokreću automatski prekid doziranja otpada.



Povjerenje javnosti

Transparentno objavljeni rezultati temelj su prihvaćanja postrojenja.

Četiri područja praćenja



1. Ulaz otpada

Masa, vrsta, ogrjevna vrijednost, Cl, S, F, teški metali (Hg, Cd, Tl), PCB, vlaga, pepeo



2. Proces izgaranja

Temperatura i vrijeme zadržavanja plinova, O_2, CO, tlak, protok i vlaga dimnih plinova



3. Emisije u zrak

Kontinuirano: prašina, HCl, HF, SO_2, NOx, CO, TOC, NH_3, Hg. Povremeno: metali, PCDD/F, PCB



4. Ostaci i otpadne vode

Šljaka (TOC < 3 % ili gubitak žarenjem < 5 %), leteći pepeo, izluživanje, otpadne vode od pročišćavanja plinova

Kontinuirana mjerenja emisija (AMS)

Prašina ukupne čestice	**HCl** klorovodik	**HF** fluorovodik	**SO_2** sumporov dioksid
NOx kao NO_2	**CO** pokazatelj izgaranja	**TOC** ukupni org. ugljik	**Hg** živa (BAT)
NH_3 uz SNCR / SCR	**O_2** referentni kisik	**T, p** temperatura, tlak	**H_2O, Q** vlaga, protok

Normiranje rezultata

- 273 K, 101,3 kPa, suhi plin
- 11 % O_2 spalionice
- 10 % O_2 cementne peći

Osiguranje kvalitete

- EN 14181: QAL1, QAL2, QAL3, AST
- Polusatne i dnevne srednje vrijednosti

Povremena mjerenja i dugotrajno uzorkovanje

Parametar	GVE (IED)	Učestalost
Cd + Tl	**0,05 mg/Nm³**	najmanje 2× godišnje
Hg (ako nije kontinuirano)	**0,05 mg/Nm³**	ili dugotrajno uzorkovanje
Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V	**0,5 mg/Nm³ (zbroj)**	najmanje 2× godišnje
PCDD/F (dioksini i furani)	**0,1 ng I-TEQ/Nm³**	2× godišnje + BAT: dugotrajno
Dioksinima slični PCB	**BAT-AEL uz PCDD/F**	prema BAT zaključcima
N_2O, benzo(a)piren	**prema dozvoli**	prema BAT zaključcima

0,1

ng I-TEQ/Nm³

Granica za dioksine i furane, jednaka za cementare i spalionice. BAT za nove spalionice: 0,01 do 0,04.

Procesni uvjeti koji se moraju dokazati

850 °C

najmanje 2 s nakon zadnjeg dovoda zraka

1100 °C

ako otpad sadrži > 1 % halogeniranih org. tvari (kao Cl)

2 s

minimalno vrijeme zadržavanja plinova



Automatska blokada doziranja otpada

pri pokretanju dok se ne postigne propisana temperatura, kad temperatura padne ispod minimuma i kad kontinuirana mjerenja pokažu prekoračenje GVE zbog kvara uređaja za pročišćavanje.



Cementara ili spalionica?

Isti otpad, dva vrlo različita termička procesa, pa i različit fokus mjerenja

Dva procesa, dva svijeta uvjeta

Cementna peć (suspaljivanje)

~1450 °C	materijal; plamen do 2000 °C
> 5 s	plinovi iznad 1100 °C
0 kg	pepela: ostaje u klinkeru

Specijalizirana spalionica

≥ 850 °C	ili ≥ 1100 °C za opasni otpad
≥ 2 s	vrijeme zadržavanja plinova
20–30 %	mase ostaje kao šljaka i pepeo

Granične vrijednosti: IED Prilog VI

Parametar, mg/Nm³ (dnevno)	Spalionica, 11 % O_2	Cementna peć, 10 % O_2
Ukupna prašina	10	**30**
TOC	10	**10***
HCl	10	10
HF	1	1
SO_2	50	**50***
NOx (kao NO_2)	200 / 400	**500**
CO	50	**prema dozvoli**
Hg	0,05	0,05

Što primijetiti

- Cementarama su dopuštene više vrijednosti za prašinu i NOx (narančasto).
- * Za SO_2 i TOC nadležno tijelo može odobriti izuzeće ako emisije ne potječu od otpada nego od sirovine.
- Ako > 40 % topline daje opasni otpad, cementara mora poštovati GVE za spalionice.

Gdje se fokus mjerenja razlikuje

	Cementara	Spalionica
Porijeklo emisija	SO_2, TOC, CO i Hg djelomično dolaze iz sirovine (lapor, vapnenac)	Emisije gotovo u cijelosti potječu od otpada
Kiseli plinovi	Lužnati klinker veže HCl, HF i SO_2; malo dodatne opreme	Potrebno mokro, polusuho ili suho pročišćavanje; mjeri se prije i poslije
Živa	Hg kruži između peći i filtra; kritičan parametar	Uklanja se aktivnim ugljenom; kontinuirano prema BAT
Ostaci	Nema pepela: prati se kvaliteta klinkera i cementa (metali, Cr VI)	Šljaka, leteći pepeo i APC ostaci: TOC, izluživanje, opasna svojstva
Otpadne vode	Nema ih iz pročišćavanja plinova	Mjere se ukupne suspendirane tvari, metali, PCDD/F

Specifično za cementare

Mjesto doziranja

Otpad s organskim tvarima ne smije ulaziti sa sirovinskim brašnom: hladni dio peći daje TOC i CO.

Kontrola alternativnih goriva

Cl (zatvaranje kruga, bypass), S, Hg, Tl, Cd, ogrjevna vrijednost i PCB za svaku isporuku.

Kvaliteta proizvoda

Metali ugrađeni u klinker prate se analizom klinkera i cementa, uključujući Cr VI.

Referentno stanje

Usporedba emisija s otpadom i bez njega dokazuje utjecaj otpada i opravdava izuzeća.

Austrija: heksaklorbenzen u Görtschitztalu

2012.

Cementara u Wietersdorfu (Koruška) počinje suspaljivati „Blaukalk”, vapneni mulj s odlagališta kemijske industrije u Brücklu, onečišćen klorougljikovodicima i HCB-om.

Doziranje

Mulj se dodaje sa sirovinom na hladnijem kraju peći umjesto u zonu plamena: HCB se ne razgrađuje i izlazi dimnjakom.

2014.

Nadzor hrane otkriva HCB u mlijeku, siru i stočnoj hrani iz doline; suspaljivanje se obustavlja, slijede istrage i sudski postupci.

HCB

heksaklorbenzen, C_6Cl_6

Postojani organski onečišćivač (Stockholmska konvencija): bioakumulira se u masnom tkivu i ulazi u hranidbeni lanac preko trave, mlijeka i mesa.

Zašto rutinsko mjerenje to nije uhvatilo

HCB nije bio na popisu

Dozvola i IED traže prašinu, HCl, TOC, PCDD/F, metale. HCB se nije mjerio, pa ga nitko nije ni vidio.

Pogrešno mjesto doziranja

Na hladnom kraju peći temperatura i vrijeme zadržavanja nisu dovoljni za razgradnju kloriranih organskih spojeva.

Nedovoljna kontrola ulaza

Sastav otpada i njegovo ponašanje u peći nisu bili povezani s planom mjerenja emisija.

Okoliš kao „detektor”

Problem je otkriven biomonitoringom hrane: mjerenja u okolišu nužna su dopuna mjerenjima na dimnjaku.

Zaključak: uvijek mjeriti ulaz i izlaz

Jedinstvena pravila nisu dovoljna: plan mjerenja treba prilagoditi vrsti otpada

hackenbergerb@gmail.com

Ulaz

Detaljna karakterizacija svake vrste otpada, uključujući specifične onečišćivače (npr. HCB, PCB).

Izlaz

Emisije, ostaci, proizvod (klinker) i okoliš, s parametrima izvedenima iz sastava ulaza.

Prilagodba

Isti otpad u cementari i spalionici traži različite točke i parametre mjerenja.