

Polazište

Važno je naglasiti da se u okviru IPPC načela otpadom smatraju svi otpadni materijali, otpadne vode, otpadni plinovi i otpad za odlaganje na tlo. Drugi važni aspekt IPPC-a jest uporaba čistih tehnologija i učinkovitih postrojenja za smanjivanje koji omogućavaju da mogući otpadni materijali budu uporabljeni ili ponovo vraćeni u tehnološki postupak. U ovom se demonstracijskom projektu izvješćuje o takvim konceptima i istražuju se šira pitanja o smanjivanju količine otpada, strategiji gospodarenja i potrebi za dobrim, pouzdanim metodama uklanjanja i oporabe prašine.

Nastanak otpada važno je pitanje u većini industrijskih grana te je smanjivanje količine nastalog otpada važna za smanjenje troškova i poboljšanje prihvatljivosti industrije za okoliš. U industriji proizvodnje cementa utjecaj na okoliš uglavnom je u obliku onečišćenja zraka, a prašina je ovdje vrlo važna komponenta. Prašina se može naći u zraku radi lošeg sustava uklanjanja, u obliku emisija iz difuznih izvora ili kao kruti otpad za odlaganje kada ju nije moguće ponovo vratiti u peć. Kada se koriste učinkovite i pouzdane metode skupljanja prašine, tada je moguće razmotriti i uporabu više vrsta goriva, uključujući i goriva od otpadnih materijala.

U industriji cementa, cementna prašina iz peći koja se skupi u glavnom uređaju za filtriranje čini dio proizvoda i može dosegnuti i do 10 % proizvedenog cementa pa je pouzdano skupljanje ujedno i proizvodna korist.

Postoje brojni izvori emisija prašine u cementarama. Oni uključuju prikupljene emisije iz peći, hladnjaka klinkera i mlinova za sirovine, cement i ugljen zajedno s brojnim podizvorima i emisijama iz difuznih izvora sa skladišta, cesta, itd. Ovisno o načinima skladištenja sirovina i cementnog klinkera, emisije iz difuznog izvora mogu biti znatne.

Postoje razni uređaji za otprašivanje prikupljenih emisija. ESP uređaji kao i vrećasti filtri imaju svoje prednosti i nedostatke. Oba su oblika vrlo učinkovita u otprašivanju tijekom uobičajenog rada, ali postoje razlike u posebnim uvjetima rada kao što je, na primjer, visoka koncentracija CO u sporednim plinovima. Isto tako, rad ESP-a prilikom pokretanja rada peći, gašenja peći ili prebacivanja sa složene funkcije (kada je mlin za sirovinu uključen) na izravnu (kada je mlin za sirovinu isključen), može biti značajno smanjen dok će istovremeno učinkovitost vrećastog filtra manje trpjeti. Učestalost i trajanje porasta CO može se umanjiti ali najčešće ovisi o sadržaju ugljika u škriljevcu koji se koristi kao sirovina. Porasti CO su značajni samo kod ESP-a dok kod uporabe vrećastog filtra nemaju utjecaja. ESP-i, dakle, imaju neke značajne nedostatke vezane uz gubitak proizvoda tijekom nekih događaja kao što su porasti CO, a i manje su učinkoviti u uklanjanju PM₁₀ i PM_{2,5}, što je značajan nedostatak kada se otpad želi koristiti kao zamjensko gorivo.

Glavni filtarski sustavi koji se koriste za smanjenje količine prašine u hrvatskim cementarama su vrećasti filtri. Oni su učinkovitiji za fine čestice prašine i omogućavaju

uporabu goriva dobivenog iz otpada bez uzrokovanja ekoloških problema za vrijeme porasta CO i ostalih razdoblja nestabilnog rada. Tablica 1 pruža podatke o učincima i troškovima vrećasti filtara i elektrostatskih uređaja prilikom određene primjene, a prednosti i nedostaci pojedinih metoda ispituju se u odjeljcima u nastavku.

Tehnika	Primjena	Podaci o emisijama		Trošak	
		mg/Nm ³	kg/toni	Investicija	Operativni
				milijun EUR	EUR/t klinkera
Elektrostatski otprašivači	Svi sustavi peći, hladnjaci klinkera, cementni mlinovi itd.	<5 – 20	0.01 – 0.04	2.1 – 6.0	0.1 – 0.2
		<5 – 20	0.01 – 0.04	0.8 – 1.2	0.09 – 0.18
		<10	0.02	0.8 – 1.2	0.09 – 0.18
Vrećasti filtri	Svi sustavi peći, hladnjaci klinkera, cementni mlinovi itd.	<5 – 10	0.01 – 0.02	2.1 – 6.0	0.15 – 0.35
		<5 – 10	0.01 – 0.02	1.0 – 1.4	0.1 – 0.15
		<10	0.02	0.3 – 0.5	0.03 – 0.04

Tablica 1: Pregled tehnika za nadzor prašine u procesu proizvodnje cementa

Razlike između ESP-a i vrećastih filtara sažeto su prikazane u nastavku.

Elektrostatski otprašivači

Elektrostatski otprašivači generiraju elektrostatsko polje preko puta prolaska čestice u zračnoj struji. Čestice postaju negativno nabijene i kreću se prema pozitivno nabijenim skupljačkim pločama. Skupljačke ploče se periodično udaraju ili tresu otpuštajući tako skupljeni materijal u skupljačke lijevke. Važno je optimizirati cikluse trešnje ESP-a da bi se smanjio povrat čestica. ESP karakterizira sposobnost rada u uvjetima visoke temperature (do otprilike 400 stupnjeva C) i visoke vlažnosti.

Uspješnost rada ESP-a ovisi o raznim radnim parametrima kao što su:

- sadržaj vlage u plinu,
- kemijski sadržaj dimnih plinova,
- protok dimnih plinova,
- raspored veličine čestica i kemijska struktura,
- električni otpor čestica,
- temperatura plina,
- početak i kraj rada
- snaga električnog polja,
- površina i oblik elektroda,
- koncentracija SO₂
- sadržaj vlage
- prijelazne faze raznih uvjeta rada.

Postojeći ESP-i najčešće se mogu nadograditi bez potrebe za potpunom zamjenom te tako smanjuju troškove. To se može postići instaliranjem više suvremenih elektroda ili ugradnjom automatske kontrole napona na starijim postrojenjima. Dodatno, moguće je poboljšati prolazak plina kroz ESP ili dodati dopunske faze.

ESP-i se isključuju za vrijeme povišenih razina CO, kada postoji mogućnost nastanka eksplozivnih smjesa u dimnim plinovima (porasti CO). Automatizirani uređaj za nadzor CO mora neprekidno kontrolirati dimni plin radi okrivanja potencijalno eksplozivne smjese i isključivanja ESP-a ukoliko do toga dođe.

Učestalost i trajanje takvih događaja uglavnom varira između jednom do šest puta mjesečno i traje uglavnom oko 13 minuta. To predstavlja značajan utjecaj na okoliš. Druga su postrojenja izvjestila o učestalosti od jednom tjedno kada je kao sirovina korišten škriljevac s visokim sadržajem ugljika.

Vrećasti filtri

Vrećasti su filtri vrlo učinkoviti skupljači prašine pod uvjetom da nisu oštećeni. Temeljno načelo filtriranja tkaninom jest iskoristiti membranu tkanja koja propušta plin ali zadržava prašinu. U početku se prašina slaže i na površinska vlakna i u dubinu tkanja, ali kako se površinski sloj povećava prašina sama postaje glavni filtrirajući medij. Izlazni plinovi mogu prolaziti ili od unutrašnjosti vreće prema van ili obrnuto. Kako se naslaga prašine deblja, pojačava se otpor prema prolasku plina. Iz tog razloga su potrebna periodična čišćenja filtrirajućeg medija radi smanjenja pritiska plina na sam filter. Ovisno o vrsti čišćenja, najuobičajenije metode čišćenja obuhvaćaju propuhivanje komprimiranim zrakom, obrnuti protok zraka, mehaničku trešnju ili kucanje i vibriranje.

Vrećasti filter mora sadržavati višestruke odjeljke koji se mogu pojedinačno odvojiti u slučaju greške na vreći i mora ih biti dovoljno za održavanje prihvatljivog rada ukoliko se jedan odjeljak isključi. Moraju postojati detektori pucanja vreće da bi se provelo održavanje ukoliko do toga stvarno dođe. Suvremeni monitori prašine mogu otkriti kvar filtra u točno određenom odjeljku kada su povezani s ciklusom čišćenja. U tom slučaju, nakupine prašine tijekom ciklusa čišćenja će značiti kvar na vreći i identificirati odjeljak gdje se desio kvar.

Tehnička promjena vlakana u procesu proizvodnje cementa i cementarama											
Veste vlakana (bez komercijalnih naziva)		Temperatura (°C)		Otpornost na kiseline	Otpornost na lužine (većina)	Hidroliza/vruća vlaga	Oksidacija/kisik >13 %	Otpornost na abraziju za primjenu u cementari	Učink. filtriranja <u>bez obrade</u> površine	Kem. ili meh. pbrada površine za poboljšanje filtracije i ekonomičnosti	Relativni trošak po površini ugrađene jedinice
		Nominalna	Vršna	Otpornost se može mijenjati zbog temperatura i kombinacije sastojaka							
Pamuk		80	80	Slabo	Dobro			Dobro	Vrlo dobro		Niski
Polipropilen	PP	90	100	Izvršno	Izvršno	Izvršno	Izvršno	Izvršno	Dobro	Nepotrebno za primjenu	Niski
Vuna				Zadovolj.	Slabo				Vrlo dobro		Niski
Poliester	PES	150	160	Slabo	Zadovolj.	Slabo	Izvršno	Izvršno	Dobro	Da za proces, ne za silos ili skupljače emisija iz difuznih izvora	Niski
Poliakrolonitril kopolimer	PAN	110	120	Dobro	Zadovolj.	Izvršno	Izvršno	Dobro	Dobro		Niski
Poliakrilonitril Himopolimer >95 %		125	135						Dobro		Niski
Najlon			205	Slabo to Zadovolj.	Izvršno			Izvršno	Izvršno		
Aramid (meta)/aromatični poliamid	AR/PA	180	200	Zadovolj.	Dobro	Zadovolj.	Izvršno	Dobro	Dobro	Da za procese primjene tretiranja plina	Srednji
Polivililenesulfid	PPS	180	200	Izvršno	Izvršno	Dobro	Slabo	Dobro	Dobro		Srednji
Polimid	PI	180	240	Zadovolj.	Zadovolj.	Zadovolj.	Dobro	Dobro	Izvršno	Nepotrebno radi strukture vlakna	Visoki
Slaklena vuna	GF	280	280	Dobro osim HF	Izvršno	Izvršno	Izvršno	Slabo	Zadovolj.	Preporučena niska brzina filtracije	Srednji
Staklena vuna s ePTFE membranom (prošireno)	GF+Mem.	260	280					Zadovolj.	Vrhunsko	Uključeno radi membrane	Visoki
Politetrafluoroetilen	PTFE	250	260	Vrhunsko	Vrhunsko	Vrhunsko	Vrhunsko	Zadovolj.	Slabo	Vrlo preporučljivo	Vrlo visoki
Tablica pokazuje prosječni trošak za srednje i veće nabave tipične za cementare. Troškovi će varirati ovisno o energiji i filtrirajućem mediju.											
Raspored troškova	Niski	Do 10 EUR po m ² filtrirajuće tkanine, fco tvornica, pakirano, nije instalirano									
	Srednji	Od 10 do 20 EUR po m ² filtrirajuće tkanine, fco tvornica, pakirano, nije instalirano									
	Visoki	Od 20 do 40 EUR po m ² filtrirajuće tkanine, fco tvornica, pakirano, nije instalirano									
	Vrlo visoki	Iznad 40 EUR po m ² filtrirajuće tkanine, fco tvornica, pakirano, nije instalirano									

Tablica 2: Ključne karakteristike različitih filtrirajućih medija i raspored troškova

Primjene pri visokim temperaturama koje postoje u brojnim procesima unutar cementne peći rezultiraju u potrebi za egzotičnijim vrstama vlakana od onih «uobičajenih». Ipak, postoji dobra ponuda raznih vlakana. Suvremena sintetička vlakna se mogu koristiti pri dosta visokim temperaturama do 280 °C. Ključne karakteristike za različite filtere od tkanine zajedno sa očekivanim troškovima dane su u tablici 2.

Ne postoje restrikcije u primjeni filtera od tkanine za različite vrste procesa u industriji cementa ukoliko se vodi računa o vlažnosti i temperaturi. Filteri od tkanine se mogu koristiti za sakupljanje gotovo svake prašine kao što je prašina iz ispušnih plinova iz peći, prašine iz sporednih plinova ili iz izlaznog zraka iz hladnjaka.

Vijek trajanja, uporaba energije i zahtjevi za održavanjem filtera od tkanine ovise o toplinskom i mehaničkom naprezanju. Protok plina, debljina naslage prašine, poroznost i ciklusi čišćenja mogu utjecati na učinkovitost sakupljanja. Suvremena poboljšanja kao što su smanjenje pritiska na filtrirajući medij, brzo otkrivanje mogućih rupa pomoću neprekidnog nadzora i povezanosti detektora te sustavi čišćenja imaju za posljedicu dulji vijek trajanja filtera i niže troškove.

Ciklus čišćenja i metoda čišćenja filtrirajućeg materijala mogu utjecati na učinkovitost sustava čišćenja. Ispitivanja pokazuju da na primjer korištenje sustava čišćenja niskotlačnim pulsним mlaznicama povećava učinkovitost, a istovremeno minimalizira potrošnju energije uz veliku prednost glede emisija buke. Takav sustav se može koristiti za otprašivanje ispušnih plinova iz rotacijskim peći, ali i za otprašivanje zaobilaznice lužina, hladnjake klinkera, mlinove i razvrstivače.

Ekonomija (financije)

Investicijski troškovi novog filtera od tkanine u peći kapaciteta 3000 tona klinkera dnevno, s ulaznom razinom prašine do 500 g/Nm³ i sadržajem prašine u čistom plinu od 10 – 50 mg/Nm³ iznose oko 1,5 – 6 milijuna €, a ukoliko je potrebno i dodatnih 0,6 – 0,8 milijuna € su potrebni za toranj za hlađenje i ventilator za filter.

Tornjevi za hlađenje se općenito koriste za hlađenje plinova na temperature pogodne za rad s vrećastim filterima. Operativni troškovi za filter od tkanine za peć su oko 0,10 – 0,35 € po toni klinkera. Filter od tkanine s pulsним mlaznicama i izmjenjivačem topline od zraka do zraka za rešetkasti hladnjak klinkera u peći kapaciteta 3000 tona klinkera dnevno, sa početnim razinama emisije do 20 g/Nm³ i udjelom prašine u čistom plinu od 10 – 50 mg/Nm³ košta oko 1,0 – 1,4 milijuna €. Operativni trošak iznosi oko 0,10 – 0,15 € po toni klinkera. Za cementni mlin kapaciteta 160 tona cementa po satu i inicijalnom razinom emisije do 300 g/Nm³ i sadržajem prašine u čistom plinu od 10 – 50 mg/Nm³ investicijski trošak filtera od tkanine s pulsним mlaznicama iznosi oko 0,3 – 0,5 milijuna € uključujući ventilator za filter, a operativni troškovi su 0,03 – 0,04 € po toni klinkera.

Opterećenje filtrirajućeg prostora, razlika tlaka u filteru i sustav čišćenja su tri glavna važna čimbenika koji utječu na smanjenje troškova filtera od tkanine. Zbog međuovisnosti ta tri čimbenika cilj je postići najveći mogući odnos zraka i tkanine, najnižu moguću razliku tlaka i najniži mogući pritisak kod čišćenja. Postoje izvještaji o ukupnim smanjenjem troškova (investicijskih i operativnih) od 12 – 25 %.

Stanje u Hrvatskoj

U Hrvatskoj je donesena neslužbena odluka od strane MZOPUG kojom se zahtjeva uporaba filtera od tkanine da bi se izbjegla ispuštanja CO i minimalizirale emisije otpadne prašine. Razlozi za donošenje ove odluke temeljeni su na potrebi za pouzdanim radom pri uporabi petrolkoks i otpadnih goriva. To je primjenjeno kroz sustav licenciranja. Stanje u tipičnoj cementari je prikazano u tablici 3.

Šifra emisijske točke	Izvor emisije
A1	Sušara sirovine/vrećasti filteri
A2	Sušara aditiva/elektrostatski otprašivač
A3	Homogenizacijski silos/vrećasti filteri
A4	Rotacijska peć/vrećasti filteri
A5	Spremnici cementnog mlina/vrećasti filteri
A6	Cementni mlin br.1/vrećasti filteri
A7	Cementni mlin br.2/vrećasti filteri
A8	Namal silo no.5/bag filters
A9	Cementni silos br.4/vrećasti filteri
A10	Cementni silos br.2/vrećasti filteri
A11	Silos za leteći pepeo/vrećasti filteri
A12	Silos za sirovinsko brašno/vrećasti filteri
A13	Linija za pakiranje br.1 kota IV/vrećasti filteri
A14	Linija za pakiranje br.2 kota IV/vrećasti filteri
A15	Linija za pakiranje br.2 kota II/vrećasti filteri
A16	Utovar br.1/vrećasti filteri
A17	Utovar br.2 /vrećasti filteri
A18	Prijevoz klinkera – lanac za izvlačenje/vrećasti filteri
A19	Prijevoz klinkera – transferna točka ispod silosa za klinker br.3/vrećasti filteri
A20	Prijevoz klinkera – punjenje silosa za klinker br.3/vrećasti filteri
A21	Prijevoz klinkera – transferna točka do silosa za klinker br.3/vrećasti filteri
A22	Prijevoz klinkera – transferna točka ispod silosa za klinker br.1 i 2/vrećasti filteri

A23	Prijevoz sirovinskog brašna pokretnom trakom do predgrijača
A24	Mlin za ugljen/vrećasti filteri
A25	Prijevoz sirovog ugljena br.1/vrećasti filteri
A26	Prijevoz sirovog ugljena br.2/vrećasti filteri
A27	Prijevoz klinkera – prekrcaj iz trake s vjedrima na lančanu traku do silosa za klinker br.1 i br.2/vrećasti filteri
A28	Prijevoz klinkera – transferna točka do silosa za klinker br.1 i 2/vrećasti filteri
A29	Prijevoz klinkera – punjenje silosa za klinker br.1/vrećasti filteri
A30	Prijevoz klinkera – punjenje silosa za klinker br.2/vrećasti filteri
A31	Spremišta za aditive – nalijevanje klinkera u cementni mlin br. 1 i 2/vrećasti filteri
A32	Spremišta za aditive – nalijevanje klinkera u cementni mlin br. 2 i 3/vrećasti filteri
A33	Silos za mješani cement/vrećasti filteri
A34	Cementni mlin br.3/vrećasti filteri
A35	Odvajač cementnog mlina br. 3/vrećasti filteri
A36	Cementni silos br.1/vrećasti filteri
A37	Cementni silos br.3/vrećasti filteri

Tablica 3: Oprema za smanjenje prašine korištena u hrvatskoj cementari

Cementara iz tablice 3 koristi uglavnom filtere od tkanine osim za jedan manji izvor emisije. Stanje je slično udrugim cementrama u Hrvatskoj kada su promjene goriva pratile i zamjene elektrostatskih otprašivača filterima od tkanine. Troškovna korist od uporabe jeftinijeg goriva se koristila za financiranje zamjene pogona za uklanjanje prašine. Taj princip se koristi i drugdje pa se očekuje da se dio ušteta troškova od uporabe otpadnih otapala ili ostalih goriva dobijenih iz otpada iskoristi za zaštitu okoliša.

Raspršene emisije prašine

Raspršene emisije prašine su čest problem u sektoru proizvodnje cementa ali puno materijala koji se koriste su veliki i neće baš svaki potencijalni izvor proizvesti prašinu. Treba uzeti u obzir lokalna znanja o jačini i smjeru vjetra i podložnosti materijala proizvodnji prašine prilikom planiranja najbolje akcije. Jedna ili više sljedećih opcija koriste se u hrvatskoj industriji proizvodnje cementa za sprečavanje raspršenih emisija i gubitka materijala ili proizvoda. Posebna pitanja vezana uz prostor cementare će pomoći u definiranju koje su tehnike važne, a koje ne.

- Zatvaranje i dekontaminacija starih prostora za odlaganje, isporuku, skladištenje i rad.
- Poboljšanje rukovanja materijalom vlaženjem rastresitih materijala prije i za vrijeme utovara i smanjenje učestalosti transporta
- Prevencija vjetrom nošene prašine zatvaranjem u zatvoreni prostor ili uporabom zaštitnih zidova protiv vjetra

- Instalacija pranja vozila, posebice kotača vozila koja napuštaju kamenolom. Može se sakupljati i skladištiti kišnica te ju koristiti za pranje, višak vode se može koristiti za vlaženje puteva u sušnom razdoblju
- Optimalizacija ciklusa čišćenja cesta
- Ojačavanje prostora cementare i puteva te optimalizirano čišćenje
- Minimalizacija transfera materijala između pojedinih procesa
- Korištenje zatvorenih transportnih traka ili cjevovoda s lokaliziranim izvlačenjem i filtriranjem prašine.

Zaključci

Ova tema je odabrana kao demonstracijski projekt da ilustrira širi koncept minimalizacije otpada i uklanjanje i ponovnu uporabu prašine u industriji proizvodnje cementa. Otpad uključuje otpadne plinove i komponente plinova, otpadnu energiju i otpadne vode kao i kruti otpad za odlaganje, a uklanjanje prašine iz plinotoka doprinosi oko 10% proizvodnom kapacitetu.

Prednosti filtera od tkanine znače da je u Hrvatskoj postignuto vrlo učinkovito uklanjanje prašine u cementarama i održava se visoka razina zaštite okoliša tijekom pokretanja, gašenja i kada su razine CO vrlo visoke. Neprestano visoka sposobnost zaštite okoliša filtera od tkanine dozvoljava uporabu širokog raspona goriva kao što su otpadna i ponovnu uporabu izvedenih materijala bez uzrokovanja negativnog utjecaja na okoliš. To omogućuje učinkovitu uporabu otpada koja je dio Nacionalne strategije upravljanja otpadom.

Neprekidni nadzor se koristi na glavnim točkama emisije te je dobro reguliran no manji izvori emisija se ispituju tek svakih nekoliko godina pa kvar filtera može rezultirati značajnim emisijama. Postoje dostupne opcije za periodičnu provjeru tih manjih emisijskih točaka radi provjere performansi.

Moguće je da će za neke manje emisije gdje mjerenje struje i napona može dati pouzdane indikacije performansi biti pogodniji ESP.