

PRAŠINA I GORENJE SKLADIŠTENE ROBE U SILOSIMA

Tekst: Stjepan Jurman, bacc.ing. sec.

Otkrićem vatre čovjek je spoznao brojne njezine prednosti i dobre strane, ali je svakim danom otkrivao i njene opasnosti.

Samozapaljenje je proces koji dovodi do paljenja gorive tvari na običnoj ili nešto povišenoj temperaturi kao posljedica bioloških, fizikalnih i kemijskih reakcija. Prvi znanstveni pokušaji njihova rasvjetljavanja pojavljuju se tek u drugoj polovici 18 stoljeća.

Ovim radom htio sam potaknuti zanimanje za „tihe - spore“ oksidacije, egzotermne i endotermne procese (samozagrijavanje) kao izvor topline koji su uzroci zapaljena materijala i uzročnici katastrofalnih požara. Endotermne i egzotermne reakcije odvijaju se uz promjenu energetskog stanja tvari. Naravno da je u takvim procesima bitna i temperatura paljenja pojedinih materijala.

U preradi i skladištenju žitarica i uljarica dolazi do pojavljivanja prašine koje su zbog velike dodirne površine

sa zrakom u određenim uvjetima jako opasne i upaljive uz nastajanje eksplozivne smjese.

Rukovanje u prerađivačkom lancu sa zrnatim sirovinama i krmnim smjesama dovodi do potencijalne opasnosti stvaranja eksplozivne smjese prašine

Prašine su sitne čestice, nepravilnog oblika, koje lebde u zraku i koje se djelovanjem sile gravitacije talože na podlogu. Prašine, kao i zapaljivi plinovi, imaju donju i gornju granicu eksplozivnosti. Kod normalnog zapaljenja potrebno je ispuniti tri - četiri uvjeta: kisik, goriva tvar, temperatura paljenja (trokut) i neinhibirane lančane reakcije (tetraedar).

Kod zapaljenja prašina potrebno je ispuniti pet uvjeta (pentagon): prašina mora biti goriva, izvor paljenja, zatvorenost oblaka prašine, raspršenost ili disperzija čestica prašine, dovoljna količina kisika u zraku.



Hrvatska je zemlja s povoljnim uvjetima za masovnu proizvodnju i preradu zrnatih kultura kao što su pšenica, ječam, soja, uljana repica, suncokret i kukuruz. Primjenom najsvremenije tehnologije uz podršku struke postižu se vrhunski rezultati.

Skladištenje žitarica i uljarica jedna je od ključnih postupaka u proizvodnji i preradi, a sadržaj vode u zrnju jako je bitan prilikom skladištenja. U Hrvatskoj postoje 74 silosa u kojima se skladište domaće potrebe za žitaricama i uljaricama.

Najveće požarne opasnosti javljaju se tijekom žetvenih radova, sušenja, nepravilnog skladištenja i kod prera-

de. Nepažnjom i neprimjenjivanjem pravilne tehnologije skladištenja javljaju se velike materijalne štete, a ljudski životi koji su nenadoknadivi upozoravaju na oprez i nalažu maksimalnu brigu i pozornost u radu i održavanju sustava pri skladištenju žitarica i uljarica.

Usljed fizioloških promjena i slabe predaje topline okolnom zrnju, dolazi do pojave samozagrijavanja u uskladištenoj vrsti žitarica i uljarica, koja rezultira povećanom temperaturom, a samim tim se povećava i vlažnost uskladištene mase.

Samozagrijavanje se može pojaviti mjestimično (gnjezdasto), slojevito ili

može doći do potpunog samozagrijavanja.

Isto tako, u ovom radu će biti riječi o opasnostima koje predstavlja nekontrolirano raspršivanje prašine u granicama između donje i gornje granice eksplozivnosti pojedine vrste prašine.

1. Žitarice i uljarice za skladištenje

Žitarice su jednogodišnje biljke iz porodice trava, čiji zrnasti plodovi služe za prehranu ljudi i životinja i kao sirovina u prehrambenoj industriji.

Zrele plodove kao hranu upotrebljavamo u neprerađenom obliku kao cijelo zrno ili u prerađenom obliku kao oljušteno i mlinski prerađeno u brašno, griz i slično, te od njih pravimo razne vrste pekarskih proizvoda.

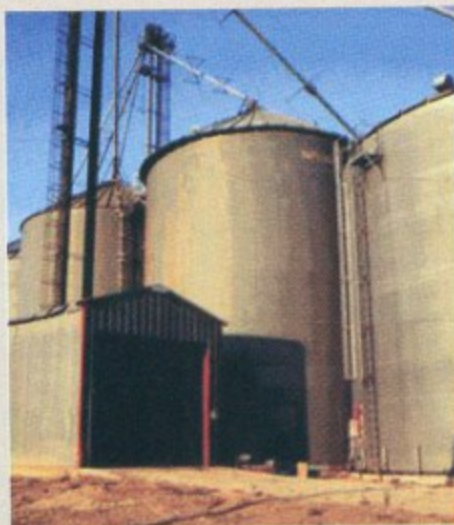
Žitarice zrnata oblika kao što su pšenica, ječam, soja, uljana repica, suncokret i kukuruz koriste se za prehranu u vidu brašna, i proizvoda od brašna, za pravljenje ulja, alkohola, piva i proizvodnju bio goriva itd....

2. Vste skladišta za žitarice i uljarice

Osnovna namjena skladišta zrnastog proizvoda je omogućavanje sigurnog skladištenja uz minimalan ri-



Slika 1.



Slika 2.



Slika 3.

zik na kvalitetu uskladištene kulture. Skladište treba zaštititi uskladištene zrnaste proizvode od vremenskih uvjeta (padalina i sunčeve energije) te treba izdržati opterećenja koja se javljaju prilikom skladištenja proizvoda u zatvorenim ćelijama.

Skladištenje se organizira s ljudima koji su neizostavni dio tehnologije sušenja. Oni upravljaju opremom koja je smještena u skladišni prostor.

Postoje skladišta za smještaj zrnatih proizvoda u cilindričnom obliku koji mogu biti izrađeni od tvrdog građevinskog materijala betona ili čeličnog lima. U takva skladišta proizvodi se skladište u visinu (bunker) (slika 1 i 2).

Zrnati proizvodi se mogu i skladištiti i u treću vrstu skladišta na pod s čeličnom nosećom konstrukcijom (slika 3).

Kapaciteti silosa (skladišta) zrnatih proizvoda su različiti što zavisi o visini, širini, i broju ćelija, ili pak o veličini hale.

Moderni silos možemo podijeliti u tri dijela

- galerija silosa
- tijela silosa
- pod silosne cjeline

Galerija silosa smještena je na samom vrhu silosa gdje su smješteni transporteri za transport zrnate robe koje imaju za zadatak ravnomjerno distribuirati zrna u ćelije (slika 4.).



Slika 4.



Slika 5.

Tijelo silosa može biti različitog poprečnog presjeka (7-14 metara), oblika (kruga, kvadrata, slika 5.) i visine koja je različita (ne veća od 50 metara).

Pod silosne cjeline (slika 6.) u većini slučajeva je izrađen u obliku lijevka s otvorom za pražnjenje zrnate uskladištene sirovine, također u sklopu ove cjeline postavljeni su i transporteri za odnos zrna.



Slika 6.

3. Tehnologije obrade žitarica

U tehnologiju prerada žitarica ubrajamo prijenos, sušenje, skladištenje i preradu zrna. Žitarice se dopremaju vozilima do objekata za preradu gdje se vrši mjerenje težine, mjerenje količine vlage u zrnju, a nakon toga vozilo odlazi do platforme za pražnjenje zrnja u koševu. Kod slobodnog pada zrna u koš postoji opasnost od stvara-

nja i pojave prašine koja može doseći do eksplozivne koncentracije.

Primarni proces u radu sa žitaricama je transport žitarica koji može biti vertikalni i horizontalni od skladišta i van. Za transport žitarica koriste se elevatori, transporteri i pneumatski transporteri koji se obično koriste u mlinovima.

Značajna operacija je čišćenje zrna od sitnih i krupnih nečistoća te od korova. Nečistoća je specifično lakša i nagomilava se u kutovima sušare te kao takva predstavlja opasnost od zapaljenja prilikom sušenja zrna.

Glavna tehnološka mjera odvajanja vlage iz zrnja je sušenje zrna, a tim postupkom se čuva kvaliteta zrna tijekom skladištenja. U našoj zemlji postoji veliki broj raznih uređaja strane i domaće proizvodnje. To su u većini slučajeva vertikalne sušare s protustrujnim kretanjem zrna i toplog zraka. Zrno s većim postotkom vlage ne smije se skladištiti zbog opasnosti koje mogu prouzrokovati neželjene posljedice. Tijekom skladištenja najvažnija radnja je kontrola vlage u zrnatoj masi, jer ponekad unatoč pravilnom skladištenju sa suhim zrnom (12-13% vlage kod žitarica, 6,5- 6,9 kod uljarica), nakon nekoliko mjeseci skladištenja može doći do ozbiljnih problema.

Nakon sušenja zrna, žitarica odlazi uz pomoć transportera u ćelije gdje se skladišti do daljnje prerade.

Prašina koja nastaje pri preradi u tehnološkom procesu i koja se nalazi u raspršenom obliku u zraku u određenoj koncentraciji, predstavlja opasnost od eksplozije i požara. Do požara ili eksplozije dolazi ako je prisutan i neki izvor paljenja. Kada je temperatura paljenja prašine u zraku visoka, postoji realna opasnost od nastanka eksplozije, a ako je temperatura paljenja prašine u zraku niska, opasnost od požara je prisutan. Naravno da nastanak paljenja prašine ili eksplozije

zavisi i od vlage i temperature smjese, veličine čestica prašine i koncentracije.

4. Požarne opasnosti kod zrnatih proizvoda

Samozapaljenje je proces koji dovodi do paljenja gorive tvari na običnoj ili nešto povišenoj temperaturi kao posljedica bioloških, fizičkih i kemijskih reakcija (egzotermne reakcije)¹ koje se događaju pod uvjetima u gorivom materijalu. Reakcije se odvijaju uz izdvajanje topline koja se samo manjim dijelom odvodi u okolinu, a daleko većim dijelom akumulira u unutrašnjosti gomile materijala.

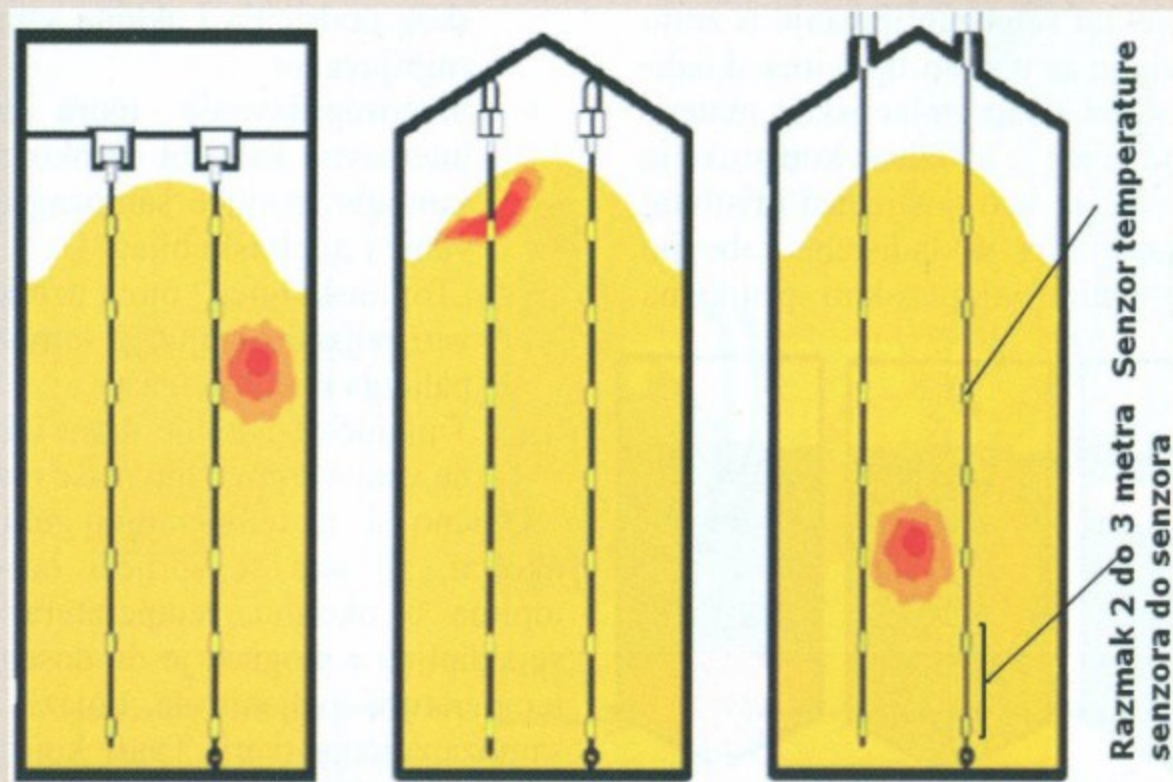
Proces samozapaljenja se odvija se u dvije faze. Prva faza je samozagrijavanje i ona često traje dosta dugo, a druga faza je samozapaljenje, tj. stvaranje takozvanih užarenih jezgri. Na mjestima gdje je materijal manje sabijen, užareni dio se preko požarnih kanala širi prema vanjskoj površini, a na mjestu gdje dođe u dodir s vanjskom okolinom počinje sagorijevanje otvorenim plamenom. Samozagrijavanje tvari je proces spontanog nagomilavanja topline. Dužina vremena potrebnog za samozapaljenje zavisi od više čimbenika:

- stanje materijala (suh, vlažan, sitan, impregniran, vruć, čist, i sl.);
- načina uskladištenja (ima li ventilacije ili nema, veličine gomile);
- vanjske temperature;
- vrste materijala.

Žitarice su sklone samozapaljenju, a sastoje se od bjelančevina, ugljikohidrata (šećer, škrob, celuloza), masti i neorganskih soli. U zrnju ima i takozvanih enzima ili fermenta koji imaju zadatak da na određenoj temperaturi i vlažnosti izazovu klijanje zrna. Enzimi utiču na razgradnju ugljikohidrata i bjelančevina uz oslobađanje topline. Uslijed ove topline može doći do porasta temperature i do 70^o C kada enzimi izumiru.

Indikator procesa samozagrijavanja je porast temperature materijala koji se skladišti. Da bi se promjena temperature pratila, u ćelije silosa se ugrađuje sistem termometara, koji se u većini slučajeva postavljaju u centralni dio ćelije (slika 7.).

Kod uobičajenog skladištenja po-



Slika 7.



Slika 8.

trebno je žitarice višekratno prebacivati iz jedne ćelije u drugu, čime ovisno o izvedbi transportnih uređaja nastaju gubici uslijed abrazije zrna, tj. gubici na kakvoći zrna, a i proizvod se dodatno zagrije za 0,5 – 1^oC, te se javljaju dodatni troškovi energije potrebne za elevaciju.

Skladišni štetnici (slika 8.) vrlo su otporni, a u povoljnim uvjetima jako brzo se razvijaju i svojim aktivnostima doprinose stvaranju uvjeta za samozagrijavanje i zapaljenje uskladištenih zrnatih proizvoda.

Kod uskladištenih zrna žitarica i uljarica smještenih u silosima i podnim skladištima, mogu se pojaviti tri osnovna oblika samozagrijavanja:

- mjestimično samozagrijavanje (kada se samozagrijavanje odvija na pojedinim mjestima

uskladištenog zrnovlja)

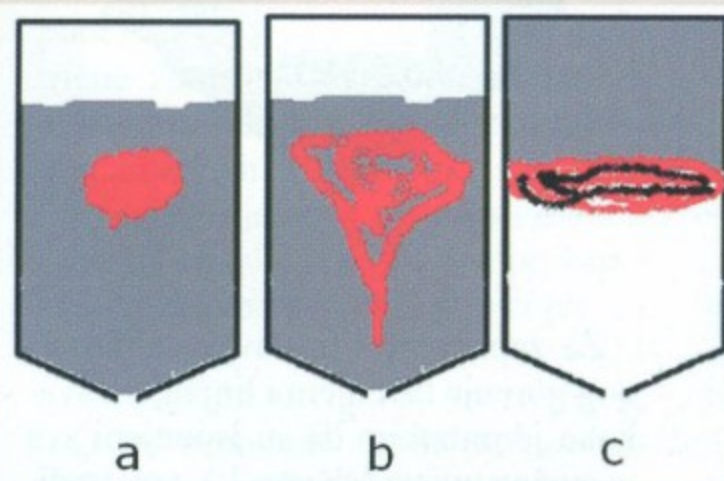
- slojevito samozagrijavanje (događa se u pojedinim slojevima uskladištenog zrnovlja)
- cjelokupno samozagrijavanje (kada je zahvaćena gotovo cijela masa zrnovlja)

4.1. Mjestimično samozagrijavanje

Kada je početna temperatura uskladištenog zrnja žitarica identična okolini, najintenzivniji rast temperature bit će u središtu mase zrnja. Zbog slabe vodljivosti topline od strane zrnja, ovaj proces će ostati lokaliziran i neće doći do većeg i naglog širenja (slika 9a).

Ako se prebacivanje zrnja obavlja u početku samozagrijavanja dolazi do miješanja zdravog i upaljenog zrnja proces samozagrijavanja će se usporiti ili prekinuti (slika 9b).

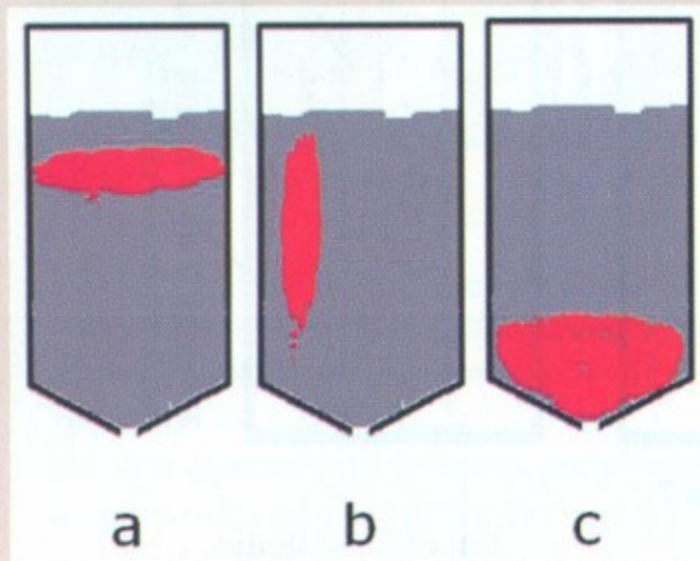
Ali ako se zakasni u uočavanju pojave samozapaljenja, doći će do stvaranja čvrstog sloja pokvarenog zrnja (slika 9c), a uslijed takve pojave može doći do poremećaja odnosa između gornjeg i donjeg sloja zrnja i do pada mase u lijevak. Uslijed toga dolazi do oštećenja donjeg dijela silosa.



Slika 9.

¹ Kemijska ili fizikalna reakcija pri kojoj se toplina oslobađa zove se egzotermna promjena.

Slojevito samozagrijavanje u zrnju pojavljuje se u svim tipovima skladišta uslijed slabo izolacijskog materijala od kojeg je izvedena konstrukcija skladišta, ili kao posljedica prisilnog provjetravanja uskladištene robe po nepovoljnim vremenskim prilikama



Slika 10.

(temperatura, relativna vlažnost zraka).

Postoje tri vrste slojevitog samozagrijavanja:

- gornje vodoravno slojevito samozagrijavanje (slika 10a)
- okomito slojevito samozagrijavanje (slika 10b)
- donje vodoravno slojevito samozagrijavanje (slika 10c)

4.2. Cjelovito samozagrijavanje

Cjelovito samozagrijavanje nastaje kao posljedica povećanja vlažnosti cijele uskladištene mase unutar koje temperatura jako brzo raste. Kod ovoga samozagrijavanja cjelokupna masa se nalazi u zagrijanom stanju, osim njenih rubnih dijelova. U većini slučajeva dolazi do razvoja razbuktalog požara uzrokovanog tinjajućim samozapaljenjem u dubini zrnja i do uništenja robe.

5. Samozapaljenje zrnatih proizvoda

Temperatura samozapaljenja je najniža temperatura tvari na kojoj dolazi do naglog povećanja egzotermnih reakcija koje izazivaju tinjanje, plamen ili žar.

Uslijed kemijskih reakcija koje se zbivaju već na sobnoj temperaturi dolazi do oslobađanja temperature.

Kako bi došlo do rasplamsavanja tvari koja je bila izvrgnuta samozagrijavanju trebaju biti ispunjeni sljedeći uvjeti:

- Masa goriva mora biti organ-

skog podrijetla i sklona samozagrijavanju

- Samozagrijavanje mora biti intenzivno kako bi uzrokovalo samoubrzavajuće samozagrijavanje („toplinski bijeg“)
- „Toplinski bijeg“ mora uzrokovati pojavu tinjajućeg samozapaljenja u dubini mase
- Tinjajuće izgaranje mora izbiti na vanjsku površinu mase tvari

Obično se ta temperatura gubi u okolini, ali ako se spriječi odvod topline u okolinu, temperatura će se skupljati i moguće je da dosegne temperaturu paljenja te dolazi do samozapaljenja tvari. Tvari koje su sklone samozagrijavanju i samozapaljenju možemo grubo razvrstati u pet osnovnih skupina:

1. tvari biljnog podrijetla
2. ugljen i svježa čađa
3. tvari prirodno bogate, natopljene ili zamašćene sušivim i polusušivim mastima i uljima
4. kemijski nestabilne kemijske tvari



Shema 1.

5. tvoriva ili proizvodi u obliku pojedinih vrsta homogenih ili heterogenih smjesa netaljivih ili teškotaljivih tvari, s dovoljno visokim sadržajem organskog/ugljikovodičnog podrijetla



Shema 2.

Za zapaljenje i nastavak samostalnog gorenja žarenjem i tinjanjem svakako je potrebno da su ispunjeni sva tri nužna uvjeta (shema 1.), tzv. tradi-

cijski trokut.

Isto tako možemo i zaključiti da za nesmetano gorenje gorivih tvari koje izgaraju plamenom ili kombinacijom plamena i tinjanja (žarenja) moraju biti ispunjena četiri osnovna uvjeta (shema 2.)

6. Samozapaljenje prašina

Prema HRN EN 61241-10 (3) prašina su sve male krute čestice u atmosferi uključujući vlakanca i pahulje, koje se talože uslijed vlastite težine, a koje mogu neko vrijeme lebdjeti raspršene u zraku.

Prema NFPA 68 prašine su fino raspršene čestice s promjerom od 420 µm ili manjim tj. materijali koji mogu proći kroz standardno sito U.S. br. 40.

Prašine se u industriji pojavljuju kao koristan proizvod (npr. brašno) ili kao otpadni produkt koji sa zrakom mogu stvoriti eksplozivne mješavine.

Prema porijeklu prašine mogu biti:

- neorganske (čestice metala, cementa i dr.);
- organske (prašina od žitarica, pamuka, vune, uglja);
- mješovite (sastav im može biti različit i one se najčešće javljaju).

Neorganske prašine mogu biti sastavljene od čestica metala i njihovih legura, raznih minerala i umjetno proizvedenog neorganskog materijala kao što su cement, staklo, radioaktivne prašine i sl. Prašine metala aluminijske i magnezijске su vrlo opasne poslije proizvodnje jer je tada oksidacija intenzivna, a poslije određenog vremena se presvlače oksidom pa je dalja oksidacija otežana.

Organske prašine se sastoje od čestica biljnog ili životinjskog porijekla. To su na primjer celulozne prašine, prašine žitarica, krmnih sirovina, pamuka, vune, kostiju i dr. Ovdje se ubrajaju i prašine od sintetičkih organskih tvari raznih plastika od organskih boja i dr.

Mješovite prašine sastoje se od čestica organskog i neorganskog porijekla pa njihov sastav može biti vrlo različit. U praksi se najčešće susrećemo s ovim tipom prašine.

Brzina izgaranja povećava se sa

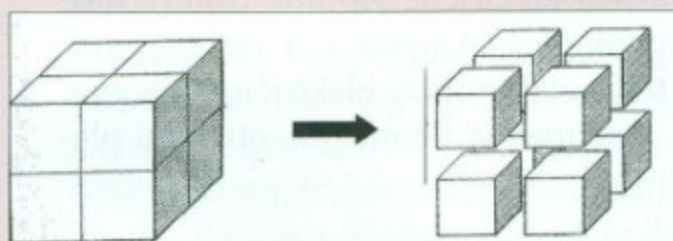


Slika 11.

povećanjem podjela materijala, tj. sa usitnjenosti materijala (slika 11).

Jedna od najvažnijih osobina prašine je da se smanjivanjem veličine čestice prašine znatno povećava ukupna površina koja je u kontaktu s kisikom, a samim tim i veća mogućnost za oksidaciju odnosno samozapaljenje. Što su čestice finije, to je veća ukupna površina same čestice prašine te je zbog toga i veća vjerojatnost da se takav oblak prašine zapali i eksplodira, jer je potrebna manja inicijalna energija za njegovo paljenje. Na primjer, kocka nekog materijala ivice 1 cm ima površinu 6 cm². Ako tu kocku usitnimo na manje kocke koje imaju ivicu 1 μm površina će se povećati na 6 m², tj. povećala se za 10.000 puta (slika 12.).

Toplina oslobođena oksidacijom sitnih čestica prašine zagrijava istu



Slika 12.

do temperature na kojoj može doći do samozapaljenja ili do brzog paljenja djelovanjem nekog drugog izvora topline.

Veoma sitne čestice se talože mnogo sporije od velikih čestica zbog velikog otpora zraka i male mase.

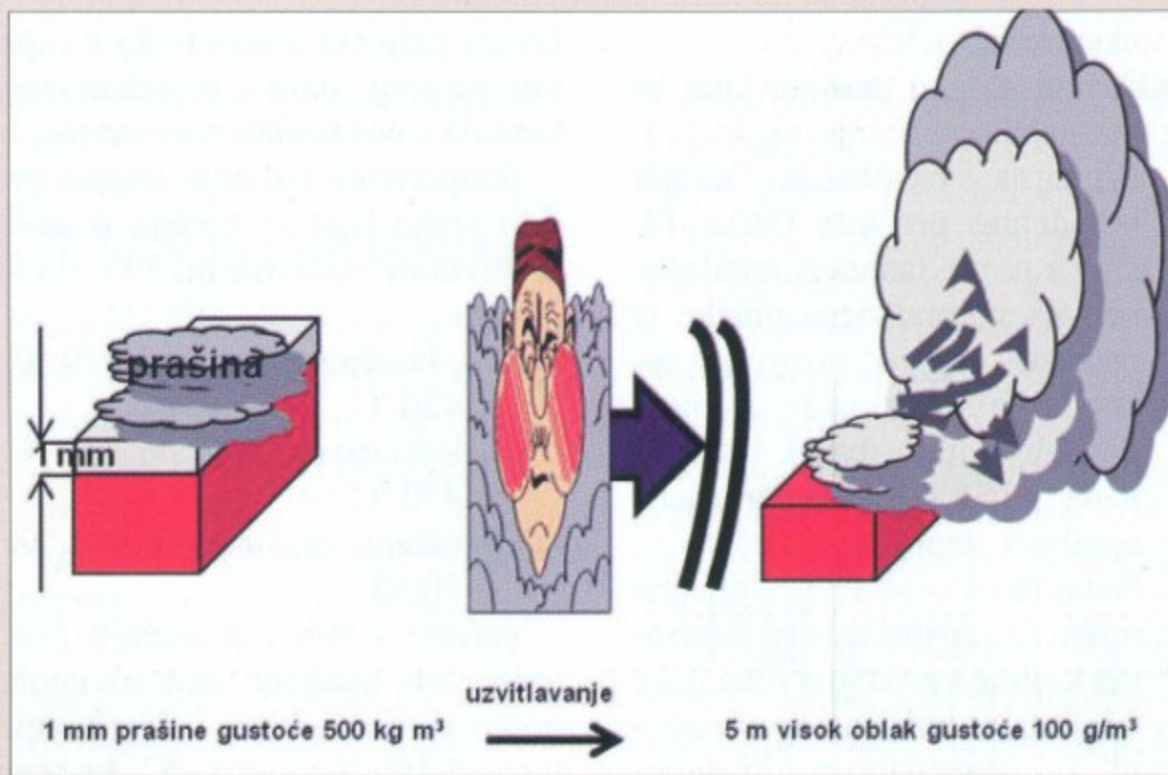
Da bi mješavine prašine sa zrakom bile zapaljive, potrebno je da su ispunjeni sljedeći uvjeti (shema 3.):

- prašina mora biti goriva,
- prisutnost dovoljne količine kisika,



Shema 3.

- postojanje izvora paljenja čija će energija biti dovoljna za iniciranje procesa sagorijevanja,
- raspršenost ili disperzija čestica



Slika 13.

prašine u dovoljnoj količini i koncentraciji,

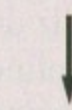
- zatvorenost oblaka prašine

Opasnost od pojave eksplozija prašina pojavljuje se osobito kod uzvitlane prašine. Postojanje uzvitlane prašine u zraku kod tehnoloških procesa rijetko se stvara, osim u zatvorenoj opremi kao što su silosi, cikloni, transportna oprema i dr. U prostorima gdje se pojavljuje uzvitlana prašina sigurno ima koncentracije prašine unutar granica eksplozivnosti. Mnogo veća opasnost od eksplozije prašine postoji kod nataložene prašine koja predstavlja opasnost da bude uzvitlana i stvori eksplozivnu smjesu sa zrakom. Jedan od uzroka uzvitlavanja nataložene prašine jest sigurno njeno tinjajuće paljenje koje posredno može uzrokovati buktanje odnosno intenzivnije gorenje, a samim tim i uzvitlavanje ostatka nataložene prašine. Ostali uzročnici uzvitlavanja prašine mogu biti razna strujanja zraka (slika 13.) izazvana nepredviđenim tehnološkim ili atmosferskim uvjetima.

Oblak uskovitlane prašine može se zapaliti od učinaka mehaničkog trenja, kao što su pregrijani ležajevi, motora sa zračnim hlađenjem koji su se pregrijali, čestice od čelika ili kamena poneseni brušenjem, pregrijane električne žarulje obložene nataloženom prašinom, statički elektricitet, otvoreni plamen i dr.

Utjecaj tinjajućeg paljenja na uzvitlavanje eksplozivne smjese prašine i zraka možemo prikazati slijedom:

tinjajuće paljenje



buktanje



uzvitlana prašina

pojedinih vrsta žitarica postoje i neki „posebni“ čimbenici utjecaji na zapaljivost i eksplozivnost prašine:

- kemijski sastav promatrane vrste prašine stanovite vrste žitarica
- fizičke značajke sastava promatrane vrste prašine (granulacija)
- raspodjela i kretanje koncentracija čestica
- sadržaj i kretanje vlage ili relativne vlažnosti
- sadržaj i kretanje koncentracija kisika u atmosferi prostora
- jakost potencijalno opasnih mogućih izvora energija paljenja²
- geometrija potencijalno opasnih mogućih izvora energije paljenja
- razina turbulencije pri strujanju opasno zaprašene atmosfere
- temperatura opasno zaprašene atmosfere
- stupanja zatvorenosti, dimenzija, geometrija vrsta i čvrstoća stijenki prostora
- položaj, veličina i geometrija čvrstih prepreka
- ispušni kapacitet naprava za odušivanje rastućeg nadtlaka

² Najmanja energija raspršenih prašina čvrstih gorivih tvari u pravilu mnogostruko (čak i do desetak puta) veće od onih najmanje potrebnih za iniciranje zapaljenja i eksplozije najzapaljivijih gorivih plinova.

eksplozije

Nataloženi slojevi prašine čine tri vrste opasnosti:

1. Primarna eksplozija unutar određenog prostora (slika 14. i 15.) može raspršiti nataložene slojeve prašine u oblake te izazvati mnogo razornije sekundarne eksplozije. Slojevi prašine moraju uvijek biti pod nadzorom kako bi se navedena opasnost smanjila.
2. Nataloženi slojevi prašine mogu se zapaliti uslijed isijavanja topline s površina rotacijske opreme na kojima su nataloženi. Taj proces može biti dugotrajan i u tom je slučaju jače naglašen rizik od požara nego od eksplozije, ukoliko u prostoru nema oblaka ili drugih zapaljivih tvari, npr. plinova ili para.
3. Nataložena prašina može se podići u zrak te tako stvoriti oblak koji se može zapaliti u dodiru s vrućom površinom, a zatim izazvati eksploziju. U stvarnosti su temperature paljenja oblaka prašine često mnogo više od temperatura tinjanja sloja prašine.

Kao opće pravilo, prašine zahtijevaju 20 do 50 puta više energije od



Slika 14.



Slika 15.

izvora paljenja u usporedbi s zapaljivim parama, ili im je potreban izravan kontakt s površinske temperature.

Temperature paljenja smjesa prašine i zraka koje se obično susreću, s relativnom vlažnosti od 30% do 90% jesu za

- pšenično brašno od 410 °C do 430 °C
- kukuruzni škrob od 410 °C do 450 °C
- raženu prašinu od 430 °C do 500 °C

Najviše žitnih i pšeničnih prašina može biti upaljeno ako su upuhane preko vruće površine ležaja temperature od 400 °C do 500 °C. I s temperaturama od približno 200 °C prašine mogu biti zapaljene uz povoljne uvjete (male čestice, visoka turbulencija, niska relativna vlažnost i dr.).

Temperatura tinjanja je najniža temperatura površine zagrijane podloge koja dovodi do tinjajućeg paljenja 5 mm debelog sloja nataložene prašine neke gorive tvari.

Mehanizam paljenja i rasprostiranja fronte plamena je sličan kao i kod smjesa para zapaljivih tekućina ili zapaljivih plinova.

Temperatura paljenja oblaka brašna iznosi 430 °C granulacije 71 μm

Temperatura tinjanja sloja brašna iznosi 350 °C granulacije 200 μm

6.1. Koncentracija od oblaka prašine

Temeljni podatak za utvrđivanje DGE jest koncentracija uzvratne prašine u zraku mjerena u g/m³. Krućnoća zrna prašine znatno utječe na uvjete paljenja, ali bitno ne pomiče granice eksplozivnosti. Donja granica za većinu zapaljivih prašina je prilično dobro definirana, ali zbog nedostatka ujednačenosti oblaka prašine koncentracije gornje granice eksplozivnosti je teže tvrditi. Donje eksplozivne granice za većinu zapaljivih prašina u rasponu 10g/m³ iz zraka 500g/m³.

Općenito govoreći, može se navesti da su granice eksplozivnosti prašine u zraku sljedeće:

- najniža koncentracija od 50 g/m³ do 100 g/m³
- najviša koncentracija od 2 kg/m³ do 3 kg/m³

Znakovita obilježja zapaljivosti i eksplozivnosti svake pojedine vrste prašine cerealnog podrijetla predočena su tablicom 1.

Između gornje i donje granice ek-

splozivnosti smještena je stehiometrijska koncentracija eksplozivne prašine.

6.2. Atmosferski sastav

Kisik mora biti prisutan u prostoru prije eksplozije prašine kako bi se omogućio nastanak eksplozije. Koncentracija kisika u zraku je obično 21%, a smanjenje sadržaja kisika u zraku, znatno smanjuje šansu za nastanak eksplozije prašine. U atmosferi koja je bogata s kisikom dogodit će se eksplozija koja će biti veća i jača.

6.3. Izvori energije pripaljenja prašina žitarica

Mogući izvori toplinske energije paljenja zapaljivog oblaka prašine mogu biti: procesi samozapaljenja i samozagrijavanja, pregrijani ležajevi, vruće električne žarulje, ostali vruće podloge, zavarivanje i rezanje, statički elektricitet, električna energija, iskre metala i kamenja, otvoreni plamen

7. Klasifikacija prostora u kojima se može pojaviti eksplozivna atmosfera

Prostori u industrijskim postrojenjima u kojima se pojavljuje eksplozivna atmosfera zapaljive prašine podijeljene su pravilnikom o protueksplozijskoj zaštiti u tri zone.

Prema pravilniku podjela prostora koji su ugroženi eksplozivnom atmosferom se dijele:

Zona 20

Prostor, u kojem se eksplozivna atmosfera u obliku oblaka gorive prašine ili vlaknaca u zraku pojavljuje stalno ili duže vrijeme ili je često prisutna.

Zona 21

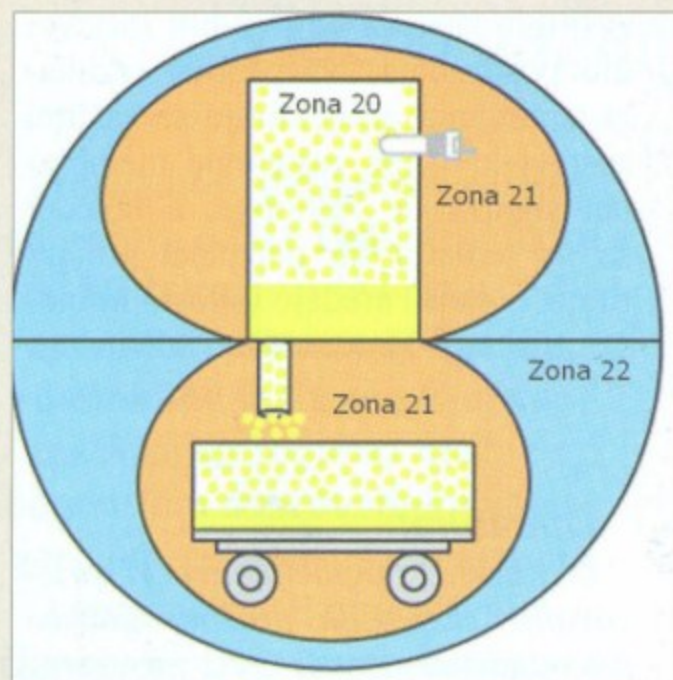
Prostor, u kojem se eksplozivna atmosfera u obliku oblaka gorive prašine ili vlaknaca u zraku može povremeno pojaviti u normalnim uvjetima rada.

Zona 22

Prostor, u kojem se eksplozivna atmosfera u obliku oblaka gorive prašine ili vlaknaca u zraku ne očekuje u normalnim uvjetima rada, ali ako nastupi, tada samo kratkotrajno.

Napomene:

1. Slojeve, taloge i nagomilavanje zapaljive prašine ili vlaknaca treba uzeti u obzir kao svaki drugi uzrok, koji dovodi do stvaranja eksplozivne atmosfere.
2. Normalnim uvjetima rada smatra



Schema 4.

se stanje pri kojemu se postrojenje koristi unutar svojih projektiranih parametara.

Tijekom skladištenja zrna, kao i kod utovara i istovara transportnih vozila, za ove proizvode može se stvoriti eksplozivne smjese prašine i zraka (shema 4.). Za izbor dobrih uređaja za praćenje moraju se izraditi zone opasnosti kod eksplozivnih prašina. Kada se napuni silos sa žitom, on postaje potencijalno ispunjen eksplozivnom atmosferom (zona 20). Izvan silosa i utovara uvjet da se javlja samo povremeno, npr. tijekom punjenja ili pražnjenja (zona 21). Zona 21 je okružena Zone 22, kod koje je vrlo rijetko nai-

Tablica 1. Značajke eksplozivnosti najčešćih vrsta žitarica (U.S. Bureau of Mines, 1961).¹

| Vrsta prašine | Najviši nadtlak eksplozije (kPa) | Najveća brzina rasta nadtlaka eksplozije (MPa/s) | Temperatura samopaljenja | | Najmanja energija pripaljivanja (J) | Donja granica zapaljivosti (g/m ³) |
|---|----------------------------------|--|--------------------------|--------------------|-------------------------------------|--|
| | | | Oblaka prašine (°C) | Sloja prašine (°C) | | |
| lucerka, mljevena | 455 | 7,6 | 460 | 200 | 0,320 | 100 |
| trava od trava žitarica | 360 | 3,5 | 550 | 220 | 0,800 | 200 |
| kukuruz | 655 | 41,0 | 400 | 250 | 0,040 | 55 |
| kukuruzni klip, mljeveni | 760 | 21 | 450 | 240 | 0,045 | 45 |
| dekstrin žitarica, čisti | 725 | 48 | 400 | 370 | 0,040 | 40 |
| Škrob kukuruzni (komercijalni proizvod) | 745 | 48 | 380 | 330 | 0,040 | 45 |
| Škrob, kukuruzni (koji prolazi kroz sito 325 mesha) | 790 | 62 | 390 | 350 | 0,030 | 40 |
| lanena vlakna | 560 | 5,5 | 430 | 230 | 0,080 | 80 |
| Zrnje žitarica, pšenice, kukuruza, zobi | 790 | 38,0 | 430 | 230 | 0,030 | 55 |
| sjemenki trave | 165 | 1,4 | 490 | 180 | 0,260 | 290 |
| riža | 640 | 18,0 | 440 | 220 | 0,050 | 50 |
| riža mekinje | 420 | 9,0 | 490 | - | 0,080 | 45 |
| šafrenika, brašno | 580 | 20 | 460 | 210 | 0,025 | 55 |
| sojino brašno | 540 | 5,5 | 540 | 190 | 0,100 | 60 |
| sojin protein | 660 | 65 | 520 | 260 | 0,050 | 35 |
| pšenica, netretirana | 710 | 25 | 500 | 220 | 0,060 | 65 |
| pšenično brašno | 655 | 26,0 | 380 | 360 | 0,050 | 50 |
| pšenični škrob za prehranu | 690 | 45 | 420 | - | 0,025 | 45 |
| slame pšenice | 680 | 41 | 470 | 220 | 0,050 | 55 |

<?>Tablicom predočeni podaci su samo orijentacijske naravi (dati samo radi oslikavanja znakovitih različitosti u obilježjima njihove eksplozijske opasnosti). Naime, kasniji literarni izvori ne preporučaju njihovu izravnu uporabu u projektnim izračunima inženjerstva protupožarne i protueksplozijske sigurnosti i zaštite, bez prethodnih provjera na pokusno relevantnim uzorcima specifične vrste sigurnosno sporne prašine (svake pojedine požarno i eksplozijski opasne vrste prašine u promatrane vrste žitarice/proizvoda), primjenom – danas bitno osuđenjenih i točnijih – normnih metoda ispitivanja i tumačenja rezultata takvih ispitivanja (podaci preneseni iz: NMAB, 1982., str. 117. i Van Fleet, E.L., Frank, O. i Rosenbeck, J., 2004., str. 3.)

ći opasne prašine u smjesi sa zrakom.

8. Vatrogasna taktika

Postupci vatrogasaca prilikom intervencije zavise prije svega od mjesta nastanka te vrste neželjenog događaja u proizvodnji i preradi žitarica i uljarica.

Požar se može dogoditi prilikom: transporta, kod sušenja, skladištenja, mljevenja i separacije.

Prema načinu paljenja i brzini sagorijevanja požar može biti izazvan: vanjskim izvorom paljenja, samozapaljenjem i eksplozivnim sagorijevanjem.

Kod požara transporta zrnja postoji opasnost od zapaljenja transportnih gumenih ili sintetičkih traka kojima se vrši transport, pa se takav požar pretvara u gorenje gume ili sintetike.

Kod požara prilikom sušenja u sušari prvo treba isključiti dovod goriva (plamenik), zaustaviti cirkulaciju zraka i obustaviti transport zrnate mase elevatorom. U sušari se nalazi ograničena količina gorive mase pa opasnost

postoji ukoliko se s elevatorom zrnje koje gori transportira u skladišni prostor u negorivu uskladištenu robu.

Taktika gašenja požara koji je nastao u ćelijama silosa, u većini slučajeva je slična za sve tipove i zavisi o konstrukciji silosa i ostaloj pratećoj infrastrukturi, količine i dostupnosti opreme i sredstava za gašenje požara, vrste i količine zrnatog uskladištenog materijala u ćelijama i fazama nastalog požara.

Svakako kod požara u ćelijama silosa mora doći do ispuštanja zrnate mase kroz otvore na dnu ćelije. Zbog stvaranja anglomerata i gromada (nepotpuno sagorijevanje) često dolazi do zatvaranja ispusnih otvora koje se moraju na neki način usitniti kako bi se omogućilo ispuštanje zrnate robe. Temperature tijekom gorenja unutar ćelija dosežu i do 900° C, ugrožavaju materijal od kojega su izgrađene ćelije, bilo da se radi o čeliku ili armiranom betonu. Vlaga je katalizator samozagrijavanja, a voda u ćeliji sprječava zagrijavanje mase koja nije zahvaćena požarom, ali nakon toga proces samozagrijavanja zrna se na-

stavlja pa možemo zaključiti da ubacivanje vode u ćelije ne omogućava definitivno gašenje požara.

Kod gašenja s vodom u ćelijama, voda se veže za masu zrna i time povećava težinu i samim tim mijenja statičko opterećenje ćelije, a i dolazi do naglog hlađenja stijenki silosa što u konačnici može dovesti do pucanja zidova ćelija ako su napravljeni od armiranog betona. Izbacivanje zrnate uskladištene robe iz ćelije silosa na otvoreni prostor povezano je s više problema, od kojih je dio povezan s konstrukcijskom izvedbom silosa i ćelija. Drugi dio je vezan s pojavama koje se odigravaju u ćeliji silosa tijekom procesa samozagrijavanja. Konstrukcijske baze silosa su često izvedene ispod nivoa zemlje pa postoji problem kod evakuacije materijala. Uvijek treba imati na umu da bi prostor ispod ćelija mogao biti ispunjen s otrovnim i eksplozivnim plinovima, pa vatrogascima treba osigurati zaštitnu opremu.

Transportne trake za izbacivanje robe iz podrumskih prostora izrađene su od gume pa treba voditi brigu o kontaktu s užarenom masom koja se ispušta iz ćelije jer dolazi do zapaljenja i onesposobljavanja za daljnji rad. Druga otežavajuća okolnost tijekom evakuacije robe iz silosne ćelije je stvaranje gromada i mostova koji nastaju zbog termičke razgradnje materijala kada nastaju tekući proizvodi razgradnje, koji se u hladnijim zonama lijepe i povezuju u gromade i mostove. Te gromade prilikom evakuacije zatvaraju otvor na dnu ćelije silosa koji obično ima promjer od 60 cm i konstrukcijski je predviđen za rad u normalnim okolnostima. Ukoliko je broj slijepjenih komada manji, i ako su manjeg promjera, tada se mogu razbijati ručnim ili pneumatskim alatom na samom otvoru. Kod betonskih ćelija s metalnim završecima u obliku konusa pražnjenje se ubrzava rezanjem donjeg dijela konusa pomoću aparata za zavarivanje uz prethodno provjetranje podsilosne cjeline.

U slučaju pojave mostova od slijepjenog materijala, u ćeliji ispuštanje materijala će predstavljati veliku teškoću. Prvenstveno se mora utvrditi položaj mosta u ćeliji što se može postići ispuštanjem materijala iz ćelije. Nakon ispuštanja, pravi se otvor na bočnom zidu silosa i dolazi do ispuštanja sadržaja ćelije iznad mosta. Po

ispuštanju sadržaja sam most se mora razoriti uporabom mlaza vode visokog pritiska promjera 1 mm, tlaka 250 bara. Presijecanje mosta u pravilu se vrši kroz otvor na dnu ćelije. Važno je uvijek imati na umu da prilikom pražnjenja ćelije može doći do stvaranja oblaka prašine koja se pali od prisutne užarene mase, a samim tim i do eksplozije. Da bi se spriječilo stvaranje eksplozivne koncentracije u ćelijama silosa, tijekom prinudnog pražnjenja u ćelijski prazan prostor, iznad ispušne prska se raspršena voda ili vodena para. Ovaj postupak je obavezan u svim slučajevima kada u ćeliji postoji užarena masa.

Gašenje požara kod mlinova u pravilu se svode prvenstveno na sprječavanje nastanka eksplozije prašine.

Požari bi se uvijek trebali gasiti raspršenim mlazom vode.

Postoji čitav niz problema koji su specifični za svaki konkretan slučaj gašenja požara pa se za njihovo rješenje uvijek mora iznaći optimalno rješenje koje mora dovesti do sigurnog završetka intervencije tijekom gašenja požara.

ZAKLJUČAK

Opasnosti od eksplozije prašine vrlo su velike, jer eksplozije mogu prouzročiti velike količine štete na imovini te su opasne po živote. Važnost provedbe sveobuhvatnog programa zaštite od prašine, uključujući analize opasnosti, način paljenja prašine i tehnike kontrole oštećenja, sprječavanje nastajanja eksplozija, obuka zaposlenika ne može biti nikada prevelika. Nadam se da će ovaj članak pomoći shvatiti vatrogascima na koji način nastaju požari u skladištenju žitarica i upoznati ih kako i kada nastaju eksplozivne smjese prašine i kolike su opasnosti.

Eksplozije su postale poticaj za poduzimanje odgovarajućih zaštitnih mjera kako bi se one u budućnosti spriječile.

Upravo radi prethodno navedenog potrebno je poznavati točne fizikalne parametre zapaljivih i eksplozivnih tvari, a upravo se ispitivanjima oni mogu odrediti. Poznavanje svih karakteristika zapaljivih i eksplozivnih tvari neophodno je prilikom samog projektiranja postrojenja, kako radi opreme koja se koristi u potencijalno eksplozivnoj atmosferi tako i zbog

zaštitnih sustava koji će biti sastavni dio postrojenja. Na osnovu rezultata ispitivanja, projektiraju se zaštitni sustavi kao npr. rasteretne membrane, sigurnosne zaklopke, a također se na temelju tih podataka projektiraju i sami uređaji (silosi, mlino... i sam proces (inertizacija...).

Literatura:

D. Kulušić, Pogibelji, uzroci i sprječavanje eksplozija prašina žitarica pri skladištenju

HRN EN 61241-10 Električni uređaji za upotrebu u zapaljivoj prašini 10 dio: Razradba prostora gdje se zapaljiva prašina nalazi ili se može nalaziti.

HRN EN 13821, eksplozivne atmosfere – sprječavanje eksplozije i zaštita – Određivanje najmanje energije paljenja smjese i prašina/zrak.

Laboratorijska izvješća ispitivanja prašina, laboratorij za protueksplozijsku zaštitu – ExLab, EX-Agencija Zagreb.

NMAB, Prevention of Grain Elevator and MILL Explosions, National Materials Advisory Board, National Academy Press

Slavko Rumbak, Istraživanje učinaka oštećenja kotrljajnog ležaja u eksplozivnoj atmosferi Zagreb 2009., Washington, D.C. 1982 (Publication NMAB 367-2).

Van Fleet, E.L., Frank, O. i Rosebeck, J., A Guide to Safety and Health in Feed and Grain Mills, North Carolina Department of Labor – Division of Occupational Safety and Health, Raleigh, 2004.

(Footnotes)

1 Premda se normno ispituje i određuje na posve drugačiji način, pokazatelj je osjetljivosti sloja prašine, odnosno oblaka u zraku raspršene prašine, na paljenje pod utjecajem vrućih površina, mehaničkih iskri (otkrnutih čestica struganja, trenja ili udaranja), vrućih površina električnih uređaja itd.

2 Pokazatelj osjetljivosti oblaka raspršene prašine na iniciranje zapaljenja elektrostatskim izbijanjem, primjenom odgovarajuće normne metode ispitivanja