Prachy kolem nás

Obrovská exploze cukrovaru v Port Wentworth v Georgii. Osm pracovníků zemřelo na místě, šest dalších podlehlo svým zraněním a třicet šest pracovníků utrpělo vážné popáleniny včetně zranění s trvalými následky. Exploze a následné požáry zničily sila, úseky balení a distribuci produktu a poškodily výrobní část cukrovaru (pro představu následků viz obr. 1). Byla to jedna z nejtragičtějších mimořádných událostí spojených s výbuchem prachu ve Spojených státech.

text **JIŘÍ LAPČÍK a KRISTÝNA KANTNEROVÁ**

SKRYTÉ RIZIKO HOŘLAVÉHO PRACHU

Představte si práškový cukr. Co se vám vybaví jako první? Sladká chuť pocukrované buchty, cukr jako rychlý zdroj energie pro tělo, možná cukrová řepa… Jde o samé příjemné a bezpečné věci, které v nás možná mohou vyvolávat obavy z růstu váhy. Slovo „prach" je vnímáno často jako nepořádek a příčina řady závažných dýchacích onemocnění. Jako zdroj rizika výbuchu je prach bohužel uváděn už méně často, což dokazuje i text na stránkách Evropské komise pro daně a cla, který se mi v době psaní článku objevil jako první odkaz ve vyhledávači při zadání textu „*zdravotní rizika vdechování prachu*" a ve kterém kromě řady užitečných informací stojí: „*Je nanejvýš nepravděpodobné, že se s hořlavým prachem při své práci setkáte.*" S tímto stanoviskem nemůžeme souhlasit. S hořlavými prachy jsme v kontaktu dennodenně, naštěstí obvykle nejsou naplněny podmínky nutné k výbuchu.

Obecně se pro výbuch prachu musí sejít pět podmínek (viz pětiúhelník na **obr. 2**): palivo (tedy hořlavý prach ve správném rozmezí velikosti částic), ohraničený prostor, rozptyl částic, vzduch nebo jiný zdroj kyslíku a zdroj iniciace (jiskra, plamen). Oproti tomu parám hořlavých kapalin nebo plynům stačí k hoření, ale i k výbuchu palivo, zdroj iniciace a oxidovadlo (tzv. trojúhelník hoření, viz **obr. 2**). Pro prach jsou to tedy dvě podmínky navíc, a to může vytvořit falešný pocit bezpečí. Nevýhodou je ovšem snadnější shromažďování (akumulace) prachu jako paliva v prostoru, často uzavřeném. To, co má u prachu obvykle největší ničivou sílu, je až jeho sekundární výbuch.

vaječné bílky	koření	tabák	celulóza	hliník
práškové mléko	čaj	rajčata	bavlna	hořčík
mouka	kakao	tráva	síra	železo
škrob	káva	dřevo	kyselina citronová	bronz
cukr	ořechy	uhlí	dextrin	plasty
syrovátka	chmel	rašelina	cukrová třtina	pryskyřice

Tab. I. PŘÍKLADY surovin vytvářejících hořlavý prach.

Ing. JIŘÍ LAPČÍK (*1991) vystudoval organickou chemii na VŠCHT Praha. Působil v průmyslovém prostředí a věnoval se procesní bezpečnosti. V současné době je na pozici rizikového inženýra pro potřeby pojišťovny.



Ing. KRISTÝNA KANTNEROVÁ, Dr. sc. ETH Zürich, (*1991) vystudovala analytickou chemii na VŠCHT Praha, doktorát v oboru biogeochemie stabilních izotopů získala na ETH Zürich ve Švýcarsku. Po postdoktorandských stážích v Německu, Japonsku a USA se vrátila na VŠCHT Praha, kde od června 2024 působí jako odborný asistent v Ústavu analytické chemie.





1. SNÍMEK ZACHYCUJE pozůstatky korečkového výtahu (vlevo), tří sil (vpravo) a balicí budovy (vepředu) po explozi cukrového prachu v cukrovaru ve městě Port Wentworth, Georgia (USA).

Zdroj: [1]

S veřejností se obvykle sdílejí firemní úspěchy. Neúspěchy vyžadují citlivý přístup. I když se o neštěstí dozvíte, málokdy – z pochopitelných důvodů – zjistíte přesné detaily a příčiny, které k mimořádné události vedly. Pro ilustraci rizik spojených s výbušností prachu budeme vycházet z volně dostupných dat, která k případu cukrovaru v Port Wentworth uveřejnila americká federální agentura Chemical Safety and Hazard Investigation Board (CSB).

„Záludnost prachu jako paliva spočívá v jeho schopnosti nenápadně pokrýt velkou plochu, kde není odsáván nebo kde nedochází k jeho smáčení či odplavování."

PĚTIÚHELNÍK SE UZAVÍRÁ

Proč k výbuchu cukrovaru vlastně došlo? V cukrovaru vyrobený granulovaný cukr dopravoval systém dopravníků k pytlování. Při přepravě granulátu ze sil docházelo k víření jemných prachových částic, které se tak šířily a usazovaly v prostoru výrobní haly, po trase dopravníků a v místech, kde probíhalo balení. K rychlosti kumulace prachových částic cukru přispělo i drcení částí granulátu na práškový cukr, nedostatečný systém odvětrávání výrobních prostor a pravidelné čištění balicích strojů tlakovým vzduchem. Zvláště nebezpečnou byla kumulace jemného prachu na obtížně přístupných místech, jako jsou potrubí a stropní konstrukce, kde se neuklízelo dostatečně často. To vše splňuje již tři podmínky z pěti nutných pro výbuch prachu.

Na dopravní trase také příležitostně docházelo k samovolnému přicpávání trasy hrudkami cukru, a lokálně se tak produkt přepadem mimo dopravníkový pás kumuloval. I samotný granulát obsahoval blíže nezjištěné množství cukrového prachu. Prach přirozeně vzniká téměř jakýmkoli dopravním procesem, jeho množství záleží na způsobu přepravy i na typu přepravovaného materiálu. Ve snaze zabránit kontaminaci produktu nečistotami byla trasa dopravy cukru zakryta, avšak bez odsávání prachu. Tak došlo k vytvoření uzavřeného prostoru – čtvrté podmínky.

materiál	obsah vlhkosti [hm. %]	velikost částic, průměr [μm]	p_{max} [MPa]	K_{ST} [MPa·m/s]*	minimální explozivní koncentrace [g/m³]	minimální iniciační energie [mJ]
cukr krystal	–	900	–	–	–	–
cukr krystal	–	< 250	0,73	0,69	30	> 5
cukr – záchyt v separátoru	0,2	30	0,91	1,32	60	< 10

Tab. II. SROVNÁNÍ PARAMETRŮ pro cukr v různých formách (p_{max} – maximální výbuchový (pře)tlak, K_{ST} – maximální rychlost nárůstu tlaku).
***) Porovnání závažnosti výbuchu** Zdroj: [4]

Zbývá už jen dohledat podmínku pátou – čím byl výbuch iniciován. Před tímto výbuchem došlo v cukrovaru již několikrát k menším požárům na dopravníkové trase. Z předchozích zkušeností s provozem přepravníkové trasy lze odvodit, že pravděpodobným iniciátorem bylo v tomto případě přehřáté ložisko. V okamžiku, kdy bylo splněno všech pět podmínek, došlo k výbuchům nahromaděného cukrového prachu, které se postupně šířily celou budovou.

NIČIVÝ EFEKT SEKUNDÁRNÍHO VÝBUCHU

Při výbuchu prachu obvykle není hlavním problémem primární výbuch. Ten sice napáchá určité škody, ale způsobí především tlakovou vlnu a plamen. Tato vlna může v případě uvedených zrnitostí cukru dosahovat hodnot tlaku téměř 1 megapascalu (viz **tab. II**). Hlavní riziko tlakové vlny primárního výbuchu souvisí s rozvibrováním stavby, potrubí, všech přítomných konstrukcí a s prouděním plynů. To vede k rozvíření prachu ve větším prostoru a k většímu sekundárnímu výbuchu iniciovanému plamenem, případně k sérii postupně se prostorem šířících výbuchů s ničivými dopady i daleko od původního zdroje iniciace.

Prach sám o sobě nevybuchuje, dokud se nedostane do vznosu. Při iniciaci ve vrstvě „pouze" hoří. Ve výrobním prostoru se ho však může nahromadit opravdu velké množství. K tomu došlo i v tomto případě. Výbuch se poté rozšířil po dopravníkové trase do prostoru pytlování, kde rozvířil jak granulát, tak i prach na špatně přístupných místech. Následky sekundárního výbuchu byly zničující.

Výbuchy hořlavých prachů jsou známým zdrojem neštěstí s velkými škodami na majetku a často i na životě. Jen na stránkách

agentury CSB se můžeme seznámit s několika dalšími vyšetřovacími zprávami nebo videi k výbuchům prachů. Na zveřejněných, už vyšetřených explozích se podílely jako palivo například prachy pryskyřic, uhlí, železa a polymerů. Riziko výbuchu prachu je popsané i v legislativě a standardech, které se zabývají prevencí.

Jak to, že tedy nejsou všude v továrnách požáry? Opakujeme – aby došlo k výbuchu, musí být splněno všech pět podmínek. Palivo, oxidovadlo, uzavřený prostor, rozptyl prachových částic a zdroj iniciace. To zní nadějně: stačí nesplnit jednu z podmínek a k výbuchu nedojde. Pojďme se podívat, co jednotlivé podmínky znamenají v praxi.

Palivo pro výbuch prachů je všude okolo nás. Z pevných materiálů vzniká prach obrušováním a drcením. Pevné hořlavé části uvolňují rostliny i živočichové jako vedlejší projev života. Většina organických materiálů, řada prášků kovů a část nekovových anorganických materiálů též vytvářejí prach schopný hořet a vybuchovat. Záludnost prachu jako paliva spočívá v jeho schopnosti nenápadně pokrýt velkou plochu, kde není odsáván nebo kde nedochází k jeho smáčení či odplavování. Objem prachu při následném úklidu může překvapit a i souvislá vrstva v tloušťce pár milimetrů může poskytnout dostatek paliva. Významnou roli při tvorbě výbušné atmosféry pak hraje také jemnost prachu. Obecně řečeno: první podmínky – paliva, tj. hořlavého prachu – se nelze zbavit jednoduše. Je pouze možné jeho množství omezit a minimalizovat vznik jemných prachových částic.

Nejběžnějším oxidovadlem je kyslík. Jako součást vzduchu je všude okolo nás – prostředí, kde není kyslík, je vzácné. Systémy se spalinami a dalšími neoxidujícími plyny představují riziko udušení a vytvořit bezpečně takový systém je obvykle drahé. Ani druhé podmínky – oxidovadla – se tudíž nelze zbavit jednoduše.

Ohraničeným prostorem je skoro každé místo, kde jsme zvyklí žít a pracovat. Může to být nádoba, ale také místnost, sklad, hala či hlubinný důl. V některé místnosti můžeme mít pocit svobody díky vysokým stropům. Nicméně právě nosné stropní konstrukce jsou jedním z míst, kde může nenápadně docházet k dlouhodobé akumulaci prachu. Některé profese mohou snížit riziko plynoucí z omezeného prostoru, ale většina populace tráví podstatnou část života v uzavřeném prostoru, a proto se ani této podmínky výbuchu nelze zcela zbavit.

Rozptyl a úklid prachu jsou běžnou součástí života. Částice prachu se vyskytují téměř v jakémkoli vzdušném proudění a pohybu, ty prach přesouvají a ten se hromadí na místech, kde již nedochází k dalšímu víření a přesunu. Obvykle jde o špatně přístupná místa. Zamezení výskytu prachu ve vzdušném proudění a jeho ukládání na nepřístupných místech napomůže jeho zachytávání filtračními systémy a monitorování obsahu prachových a polétavých částic. Tuto podmínku tedy do značné míry omezit lze, ale tím dochází k přesunu nebezpečí právě do filtračních systémů.

Zdroj iniciace se najde téměř vždy a všude. Je popsáno a standardizováno celkem 13 základních zdrojů iniciace, například otevřený plamen, horký povrch, statická elektřina, laserové paprsky či elektromagnetické záření. Vyloučit všechny iniciační zdroje s absolutní jistotou bývá velmi nepraktické, speciálně pro velké systémy. Tento přístup však lze aplikovat například u malých mobilních průmyslových vysavačů prachu, které se běžně vyrábějí z antistatických materiálů a bez součástek, které by mohly vést ke vzniku jisker. Pro jejich provoz existují omezení. Podmínku iniciačního zdroje tedy do určité míry omezit lze.



2. PĚT PODMÍNEK výbuchu znázorněných červeným pětiúhelníkem a tři podmínky požáru prachu nebo výbuchu hořlavých par a plynů znázorněné šedým trojúhelníkem (tzv. trojúhelník hoření).

Obrázky výbuchu a požáru vytvořeny pomocí ChatGPT od OpenAI 2024

DŮLEŽITÁ PREVENCE

Rizika spojená s prachy jsou často zlehčována, přestože jejich přítomnost představuje významné nebezpečí. Jde o riziko natolik běžné, že už nikoho nedělí. Předávání této znalosti je v praxi často zanedbáváno, i když existují dobře popsané způsoby, jak můžeme nebezpečí snížit. Vždy je proto potřeba uvědomit si, jaké palivo se může ve vašem prostředí vyskytovat. Schopnost prachů hořet je v mnoha případech v údajích o materiálu – v bezpečnostním listu – opomenuta. Výstražné symboly na chemikáliích jsou běžné, ale jak byste se tvářili, kdyby na pytlíku vaší oblíbené mouky bylo uvedeno, že jde o výbušný prach?

Existuje řada způsobů prevence vzniku výbušné atmosféry v prašném prostředí. Základem je vyloučit jednu nebo i více podmínek výbuchu prachu. Na druhou stranu nesprávně zvolený nebo nesprávně provedený způsob ochrany může situaci zhoršit a vyvolat řetězovou reakci, která začne právě v nainstalovaném bezpečnostním prvku. Známé jsou výbuchy například v odsávacích systémech prachu a ve filtrech pneumatických dopravníků na silech. Odsávací systémy a filtry jsou v případě hořlavých prachů značně rizikové komplexní bezpečnostní prvky. Jejich úkolem je shromažďovat hořlavý prach, který by se jinak hromadil v prostoru, a výbuch v nich musí být při návrhu systému uvažován.

Při návrhu ochran pak musíme především myslet na zamezení vzniku podmínek umožňujících výbuch prachu, jako je třeba rozředění nehořlavým materiálem (třeba vzduchem), a tam, kde výbuch z důvodu akumulace prachu nelze vyloučit (např. u dělicích systémů vysavačů, filtrů), musíme hledat způsoby, jak bezpečně uvolnit výbuch a jak zabránit jeho šíření. Základní principy jsou popsány mimo jiné i v technické normě ČSN EN 1127-1, dnes již volně dostupné přes sponzorovaný přístup veřejnosti k vybraným standardům. V naší legislativě je otázka bezpečnosti zakotvena například v nařízení vlády č. 406/2004 Sb.

K nevyhnutelným bezpečnostním podmínkám pro provoz v prašném prostředí patří znalost rizika konkrétního prostředí, vlastností prachu z daného materiálu/směsi a pravidelný a důsledný úklid, včetně obtížně přístupných míst, ideálně bez většího rozvíření částic do zbytku prostoru. A nezapomeňme, že i vysavač je odsávací systém. Speciálním rizikem jsou pak prachy reaktivní a nestabilní, které způsobí výbuch z důvodu rychlého rozkladu nebo reakce. Tento typ výbuchu může nastat i bez vzniku plamenů, například když při rozkladu vzniká nehořlavý plyn. ●

K dalšímu čtení…

[1] Investigation Report Sugar Dust Explosion and Fire 2009. https://www.csb.gov/imperial-sugar-company-dust-explosion-and-fire.

[2] Evropská komise pro daně a cla; Prach a nanočástice – Bezpečnost a ochrana zdraví. https://ec.europa.eu/taxation_customs/dds2/SAMANCTA/CS/Safety/Dust_CS.htm.

[3] CSB; Chemical Safety and Hazard Investigation Board. https://www.csb.gov/investigations.

[4] BIA-Report 13/97; Combustion and explosion characteristics of dust.