

# Havárie v zařízeních cukrovarnického průmyslu a jejich prevence

ACCIDENTS IN SUGAR PLANTS AND THEIR PREVENTION

Petr Trávníček, Jana Novotná – Mendelova univerzita v Brně  
Luboš Kotecký – Vysoké učení technické v Brně

Znalost příčin havárií jakéhokoli technického zařízení umožňuje se z těchto havárií poučit, následně použít opatření v postiženém zařízení a toto opatření (ideálně) aplikovat také v jiných obdobných zařízeních. Tím dojde (také ideálně) ke snížení míry rizika, že se bude daná havarijní událost znovu opakovat. Platí to i o cukrovarnickém průmyslu, kde v minulosti došlo k haváriím s tragickými následky, a to i v poměrně nedávné době.

Praxe ale ukazuje, že havárie, které se v minulosti staly, se stále opakují. Jedním z faktorů, proč tomu tak je, může být nedostatečná výměna informací. Svou roli může hrát i jazyková bariéra, protože příspěvky k tomuto tématu jsou publikovány většinou v národních jazycích, tím se stává výměna informací mezi různě mluvícími zeměmi komplikovanější.

Cílem našeho příspěvku je přispět k lepší informovanosti provozovatelů a obsluhy těchto zařízení o nebezpečích, která při provozu zařízení hrozí, a o preventivních opatřeních, která lze po konzultaci s odborníky v dané oblasti aplikovat.

Příspěvek pojednává o nebezpečích: výbuch (obr. 1.), požár (obr. 2.), poškození životního prostředí, únik plynné látky a její následný rozptyl do okolí (jedná se např. o zemní plyn, oxid siřičitý, oxid uhličitý nebo oxid uhelnatý).

## Výbuch

Havárie, které jsou provázeny výbuchy, jsou v oblasti cukrovarnictví nejčastěji spojeny s výskytem hořlavého prachu v pracovním prostředí. HARMANNY (1) ve své práci zmiňuje, že nejčastěji dochází k výbuchu v technologii mletí, druhé místo zaujímají dopravníky. Tento typ události zároveň patří k událostem s nejtragičtějšími následky. To dokazuje i poměrně známá havárie spojená s výbuchem cukerného prachu, ke které došlo v roce 2008 ve společnosti Imperial Sugar v USA (obr. 1.). Havárie měla 14 obětí na životech a bylo při ní zraněno 36 osob. Zprávu z vyšetřování lze dohledat na webu CSB (2). Mezi příspěvky vztahující se k haváriím v zařízeních cukrovarnického průmyslu a popisující podrobně příčiny havárie lze zařadit např. i příspěvek autorů WESTRAN ET AL. (3). Popis a příčiny havárie v cukrovarnických zařízeních s integrovanou výrobou ethanolu lze dohledat také ve zdrojích ICPE/IMPEL (4) nebo ARIA (5).

Maximální výbuchový tlak a brzance disperzních systémů je ovlivněna několika faktory. K těmto faktorům lze řadit vlhkost materiálu, velikost frakce, koncentrace prachových částic, rychlost proudění okolního vzduchu a další. Při experimentálním stanovení výbuchového tlaku a brzance hraje důležitou roli také použitá aparatura a metoda experimentu.

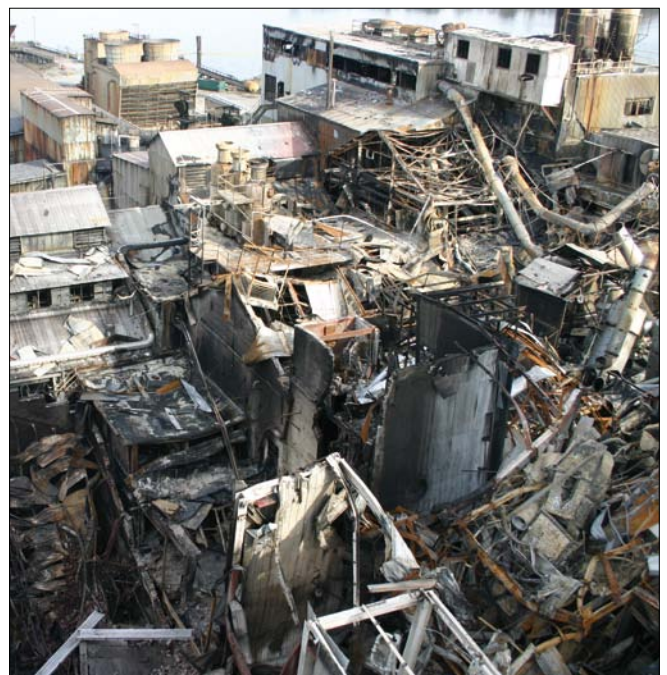
Vliv proudění vzduchu na výbuchové charakteristiky popisují například SERAFIN ET AL. (6), kteří uvádějí zjevnou závislost maximálního výbuchového tlaku na zvyšující se hodnotě Reynoldsova čísla.

V tab. I. jsou uvedeny výbuchové charakteristiky cukru. Hodnoty výbuchových charakteristik pocházejí z různých zdrojů, a je tedy obtížné hodnoty srovnávat. Nicméně z těchto hodnot lze vyzorovat určité trendy. Například možný vliv střední hodnoty velikosti frakce (distribuce velikosti částic) na maximální výbuchový tlak  $p_{max}$ .

Jak je z tab. I. zřejmé, dolní mez výbušnosti (DMV) cukerného prachu se pohybuje v intervalu 30–115 g·m<sup>-3</sup>. Starší literatura však uvádí, že průměr hodnot DMV u částic menších než 70 μm činí dokonce 10 g·m<sup>-3</sup> (7). Rozdíly v hodnotách mohou být způsobeny složením, podmínkami experimentu, vlhkostí atd.

Cukr patří mezi hydrofilní materiály. Vlhkost cukru může výrazně ovlivnit maximální výbuchový tlak a rychlost jeho nárůstu. TRAORÉ ET AL (8) uvádějí tuto skutečnost: maximální výbuchový tlak při rovnovážné relativní vlhkosti vzduchu  $\varphi = 0 \%$  činí přibližně  $p_{max} = 0,11$  MPa (platí pro střední hodnotu

Obr. 1. Následky výbuchu cukrovaru společnosti Imperial Sugar v Port Wentworth, Savannah, 7. 2. 2008 (foto Wikipedia)



Tab. I. Výbuchové charakteristiky cukru

Frakce (μm)	V <sub>ZN</sub> (dm <sup>3</sup> )	DMV (g·m <sup>-3</sup> )	MIT (°C)	MIE (mJ)	p <sub>max</sub> (MPa)	(dp/dt) <sub>max</sub> (MPa·s <sup>-1</sup> )	K <sub>st</sub> (MPa·m·s <sup>-1</sup> )	C (g·m <sup>-3</sup> )	Pramen
<63	—	30	360	8–10	0,9	—	14	—	(1)
—	—	45	360 (400 <sup>1</sup> )	—	—	—	—	—	(12)
165 <sup>2</sup>	250	—	—	—	0,27	1,47	0,93	1 600	(6)
22 <sup>3</sup>	20	50	380	18	0,11	3,0	—	60	(8)
45 <sup>3</sup>	20	—	—	—	0,58	21	—	750	(8)
63 <sup>3</sup>	20	—	380	18	0,77	48	13	—	(31)
23 <sup>2</sup>	—	95	—	<30	0,75	—	13,9	—	(32)
—	—	115	—	>1 000	0,52	—	3,5	—	(32)
286 <sup>2</sup>	—	115	—	>1 000	0,60	—	5,6	—	(32)

V<sub>ZN</sub> – objem zkušební nádoby; DMV – dolní mez výbušnosti; MIT – minimální teplota vznícení; MIE – minimální zápalná energie; p<sub>max</sub> – maximální výbuchový tlak; K<sub>st</sub> – kubická konstanta; C – koncentrace prachu ve zkušební nádobě; <sup>1</sup> – minimální teplota vznícení ve vrstvě; <sup>2</sup> – průměrná velikost částic; <sup>3</sup> – medián hodnot.

průměru částice  $d_{50} = 22 \mu\text{m}$ ). Maxima nabývá funkce přibližně při rovnovážné relativní vlhkosti  $\varphi = 10\text{--}30\%$ , kde maximální výbuchový tlak  $p_{\text{max}}$  nabývá hodnoty okolo 0,4 MPa. Totéž platí i o rychlosti nárůstu tlaku, kde hodnoty činí 3,0 MPa·s<sup>-1</sup>, potažmo 17,5 MPa·s<sup>-1</sup>. Z hlediska maximálních dosahovaných hodnot kubických konstant  $K_{\text{st}}$  lze stanovit třídu hořlavosti prachů – St1. Minimální iniciační energie se pohybuje v rozmezí 8 až více jak 1 000 mJ. Podle britské, dnes již neplatné normy BS 59581 (1991) se prachy, u nichž se iniciační energie pohybuje v rozmezí 1–10 mJ, považují za vysoce citlivé ke vznícení.

V tab. I. jsou také uvedeny hodnoty minimálních teplot vznícení (Minimum Ignition Temperature – MIT). Ve většině případů se jedná o MIT prachu dispergovaného ve vzduchu. Tyto hodnoty je možné srovnat s publikací Hasičského záchranného sboru s názvem Požárně technické charakteristiky a technické informace pro potřeby ZPP z roku 2015 (9), ve které se uvádí, že teplota vznícení cukru ve vzdušné suspenzi činí  $t = 650\text{ }^\circ\text{C}$ . To je zásadní rozdíl oproti hodnotám uvedeným v tab. I., které jsou v rozmezí  $t = 360\text{--}380\text{ }^\circ\text{C}$ . V publikaci HZS (9) není uvedena metoda, kterou byla stanovena teplota vznícení prachu. Je zde však uvedena definice teploty vznícení (SIT – Self Ignition Temperature): „Nejnižší teplota vzduchu proudícího kolem vzorku, při které dojde k samovolnému zapálení vzorku nebo produktů rozkladu bez přítomnosti vnějšího zápalného zdroje projevujícímu se plamenem nebo výbuchem“.

Naproti tomu teplota vznícení (MIT) je podle ČSN EN 13237 z roku 2013 (10) definována jako „nejnižší teplota horkého povrchu, při které dojde za stanovených zkušebních podmínek ke vznícení nejzápalnější směsi daného prachu se vzduchem (v případě vznícení prachu ve vznosu) nebo ke vznícení vrstvy prachu (v případě testování vrstvy prachu)“. V normě je také uvedena poznámka, že v literatuře se místo termínu „auto ignition temperature“ používá termín „self ignition temperature“ (viz SIT), přičemž pro prach je odpovídající bezpečnostní parametr nazýván jako minimální teplota vznícení (tedy MIT). Existuje zde tedy určitý rozdíl v definicích mezi publikací (9) a normou ČSN EN 13237 (10). Z principu předběžné opatrnosti je vhodné uvažovat konzervativně a přijmout hodnoty nižší.

Na základě předložených informací je zajímavé zmínit také hodnoty uvedené v metodice pro bezpečný provoz cukrovarů,

kteřá byla vydaná v Austrálii ve státě Queensland (11). Metodika uvádí podmínky, které musí být splněny, aby mohlo dojít k explozi cukerného prachu: nejméně 9 %<sub>obj</sub> kyslíku v atmosféře, koncentrace cukru ve vzduchu více jak 20 g·m<sup>-3</sup>, minimální iniciační energie 30 mJ, intenzita elektrostatického pole 20 kV·cm<sup>-1</sup>.

V oblasti výbuchu nelze rovněž opominout nebezpečí úniku methanu (například zemní plyn z kotelny) a možný vznik tzv. hybridní disperzní soustavy. Hybridní disperzní soustava je směs hořlavého prachu, hořlavého plynu a vzduchu. Přítomnost hořlavého plynu v plynné fázi disperze způsobuje obecně zvýšení citlivosti systému. Praktickým důsledkem je snížení spodní meze výbušnosti prachové disperze (12).

Vznik methanu je také spojen s anaerobními procesy při rozkladu biologických materiálů. Jako příklad lze uvést havárii, kdy proděravělým sítím pod šnekovým dopravníkem padaly vyloužené řepné řížky do jámy. Zde došlo k anaerobním procesům, produkci methanu a následnému vzniku výbušné směsi. Výbušná směs byla iniciována neopatrným dělníkem, který byl lehce zraněn (13).

Dalším, méně obvyklým případem je fyzikální výbuch způsobený spontánní exotermickou reakcí melasy nebo jiných cukerných roztoků. V případě melasy je to spojováno s tzv. Maillardovu reakcí. Mechanismus Maillardovy reakce dobře popisují např. HOI A DE BALLYON (14). FOSTER (15) ve své práci však poukazuje na to, že ke spontánní reakci dochází i v případě cukroviny obsahující pouze čistý cukr. Tento roztok však neobsahuje dusíkaté složky, proto dekompozice nemůže být způsobena Maillardovou reakcí.

V případě dekompozice roztoků dojde k vývinu velkého množství plynu (především CO<sub>2</sub>) ve velmi krátkém čase. Jsouli melasa nebo cukerné roztoky umístěny v uzavřeném prostoru (např. potrubí nebo skladovací zásobník), změna tlaku v nádobě může být natolik vysoká, že dojde k narušení integrity ocelového pláště zásobníku či potrubí. Hodnota změny tlaku je zřejmá z práce FOSTERA (15). V průběhu reakce také dochází ke změně kvality melasy, mění se barva, objem (16), dochází k rozkladu sacharosy. V extrémním případě dojde až k zuhelnatění melasy a melasa zčerná. Dochází tak ke značným finančním škodám.

Literární prameny odkazují především na havárie spojené s těmito jevy v zařízeních zpracovávajících melasu pocházející

z cukrové třtiny (např. 14, 15, 17). Vyskytují se však také odkazy na havárie spojené s melasou z cukrové řepy (18), jejich však mnohem méně. Důvodem menšího počtu těchto havárií může být vyšší stabilita melasy pocházející z cukrové řepy, která je způsobena vyšší alkalitou roztoku. ŠARIČ ET AL. (19) uvádí, že pH melasy z cukrové řepy činí 7,1. Podle JAMESE ET AL. (18) pH melasy z cukrové třtiny činí 5,0. HUCKER A BROOKS (16) uvádí hodnotu pH třtinové melasy 3,0–4,6.

Dalším faktorem může být i zeměpisná poloha zařízení zpracovávajícího cukrovou třtinu. Jedná se o oblasti blíže k rovníku, tedy o oblasti s poměrně vysokou průměrnou roční atmosférickou teplotou. Oba faktory, pH a teplota, jsou velmi důležitými faktory pro průběh Maillardovy reakce.

### Požár

Čistý cukr se při kontaktu s horkým povrchem nebo s otevřeným plamenem roztaví a postupně změní ve viskózní kapalinu hnědé barvy (karamelizuje), následně dochází ke karbonizaci. Cukr na rozdíl od jiných látek organického původu nezhne ani nehoří ustáleným plamenem. V literatuře je často zmiňován katalytický účinek cigaretového popela, viz např. HARMANNY (1). Pokud dojde k jeho přidání do cukru, začne cukr hořet modrým plamenem. Předpokladem je, že katalyzátorem jsou kovy, které jsou v cigaretovém popelu obsaženy. ISKANDER (20) uvádí, že v cigaretovém popelu jsou v relativně velkém množství zastoupeny kovy jako Al, Fe nebo i Ti. Jedná se o množství v řádech tisíců  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ . DOTY (21) zmiňuje další látky, které fungovaly jako katalyzátor hoření v případě kostkového cukru. Mimo Al také zmiňoval Sb, Zn,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{PbO}$ ,  $\text{MnO}_2$ , grafit, mastek, instantní kávu, muškátový oříšek, skořici. Je tedy zřejmé, že bude existovat celá škála látek, které mohou působit jako katalyzátor hoření. Kovy obsahuje například mj. i dřevěný popel (22).

S hodnotou teploty vznícení cukerného prachu ve vrstvě je možné se v některých publikacích setkat. Například NOVOTNÝ (12) uvádí hodnotu  $t = 400\text{ }^\circ\text{C}$  (tab. I.). Také v publikaci (9) je uvedena hodnota teploty vznícení cukru, a to  $t = 160\text{ }^\circ\text{C}$ . V textu sice není přímo uvedeno, zda se jedná o teplotu vznícení prachu ve vrstvě, ale z textu poznámky k této hodnotě to lze usuzovat. V poznámce je uvedeno, že hustota cukru činila  $\rho = 1\,588\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a při teplotě tavení ( $t = 160\text{ }^\circ\text{C}$ ) došlo k rozkladu a následnému vznícení usazenin prachu. U obou zdrojů podrobnější popis metody stanovení hodnoty teploty vznícení prachu ve vrstvě opět chybí. Provést diskuzi ohledně uvedených hodnot tedy není možné.

Další hořlavou látkou, která se skladuje ve významném množství, je v cukrovarech se sdruženou výrobou ethanolu. Jak je všeobecně známo, ethanol je podle nařízení EC 1272/2008 klasifikován jako vysoce hořlavá kapalina (H-225). Páry ethanolu mohou také vytvořit výbušnou směs.

### Poškození životního prostředí

Nebezpečnost kapalných látek pro životní prostředí je především dána organickým zatížením. Například MELZOCH ET AL. (23) uvádí, že CHSK melasových výpalků dosahuje hodnot  $60\text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ , jiní autoři, JENÍČEK A SÝKORA (24), uvádějí tuto hodnotu v rozmezí  $40\text{--}175\text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ . Pro srovnání, CHSK splaškových odpadních vod činí v závislosti na typu stokové soustavy přibližně  $0,5\text{--}1,65\text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$  (25).

Obr. 2. Požár cukrovaru v Českém Meziříčí (26. 8. 2004)



Jako příklad poškození životního prostředí vlivem havárie v cukrovaru může sloužit případ, který se odehrál ve Francii v roce 2016, kde došlo k úniku melasy zředěné dešťovou vodou (26). Integrita zásobníku byla v tomto případě narušena pravděpodobně korozí.

Jako jeden ze scénářů, kdy může dojít k poškození životního prostředí, lze uvažovat i únik melasy vlivem Maillardovy reakce zmíněné v kapitole Výbuch. Jak již bylo zmíněno, může v tomto případě dojít k poškození zásobníku a následnému úniku látky do okolí. V případě skladování melasy v otevřených zásobnících může melasa vlivem zvětšení objemu při Maillardově reakci překonat hranu zásobníku a rozlít se mimo skladovací prostor.

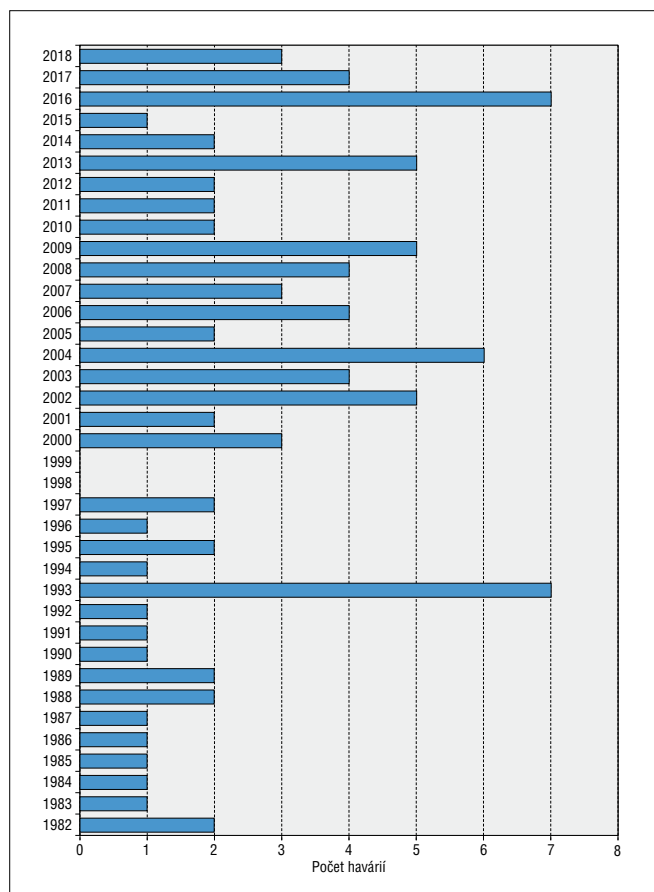
Cest kapalného znečištění do povrchových vod může být několik. Pokud je zařízení umístěno v bezprostřední blízkosti vodního toku, může se látka rozlít v okolí zásobníku a následně po zpevněné ploše přímo do vodního toku. Další cestou může být tok látky do dešťové kanalizace a odtud do recipientu.

Podrobný popis příčin havárií lze obecně dohledat ve vyšetřovacích zprávách, v odborných článcích nebo databázích havárií. Autoři na základě vlastního šetření provedli statistiku havárií, které se udály v zařízeních cukrovarnického průmyslu, a sestavili autorskou databázi. Výstupy z databáze jsou zřejmé z dalších kapitol.

### Materiál a metody

Za účelem statistické analýzy byla sestavena databáze havárií, která obsahuje následující položky: čas, obec, stát, objekt, kde došlo k havárii, předpokládaná příčina, látka, typ havárie, finanční škoda, škoda na zdraví, použitá bariéra, stručný popis děje. Do databáze jsou zařazeny i havárie, které se staly v cukrovarnických zařízeních s integrovanou výrobou ethanolu, skladech cukru nebo melasy. Byly uvažovány havárie, které se staly v posledních 37 letech, tj. od roku 1982 do roku 2018. Databáze obsahuje celkem 91 havárií. Informace o haváriích byly čerpány z vědeckých článků, vyšetřovacích zpráv, internetových deníků

Obr. 3. Absolutní počet havárií v letech 1982–2018



a francouzské databáze ARIA (27). Do databáze byly zahrnuty havárie, které se staly v zemích Evropy a USA. K výpočtům konfidenčních intervalů a jiných statistických veličin byl použit software R (v. 3.5.1) (28).

### Výsledky

Na obr. 3. je uveden absolutní počet havárií, které nastaly v letech 1982–2018. Jedná se o absolutní čísla, nelze tedy sledovat žádný trend ve vývoji počtu havárií v uvedeném období. S ohledem na dostupnost informací, především u těch havárií, které nastaly ve vzdálenější minulosti, lze předpokládat, že se nejedná o konečný počet havárií. Záznamy z havárií pocházejí

Tab. II. Typy havárií a jejich zastoupení

Typ havárie	Absolutní počet (1)	Relativní počet (%)	Konfidenční interval ( $\alpha = 0,05$ ) (%)
Poškození životního prostředí	36	40	29–50
Požár	29	32	22–42
Výbuch	15	16	10–26
Disperze	4	4	1–11
Ostatní	7	8	3–15

z Česka, Belgie, Francie, Itálie, Německa, USA a Velké Británie. Celkem u 10 záznamů se podařilo zjistit výši finančních škod. Nejvyšší finanční škoda byla zaznamenána v případě výbuchu v cukrovaru ve francouzském Boiry-Sainte-Rictrude v roce 1982, kde částka dosáhla hodnoty 100 mil. FRF. Průměrná hodnota škod činila 4,42 mil. €, medián hodnot činil 1,3 mil. € (pozn. do výpočtu nebyla zahrnuta inflace, v případě přepočtu částky národní měny na euro v době, kdy ještě euro neexistovalo, bylo využito kurzu v době, kdy se začalo eurem v dané zemi platit).

Při haváriích došlo v součtu k celkem 18 úmrtím, 56 těžkým zraněním a 142 zraněním lehkým. Přičemž těžké zranění je zde definováno jako zranění, které si vyžádalo hospitalizaci delší než 5 dní. Nejtragičtější událostí byl výbuch v roce 2008 v USA (Savannah), kde si havárie vyžádala celkem 14 mrtvých, 36 těžce zraněných a 70 lehce zraněných. Druhou nejtragičtější zaznamenanou událostí byl výbuch v Tirlémont v Belgii v roce 1982, kde zemřeli 4 zaměstnanci a 23 jich bylo lehce zraněno.

V tab. II. jsou uvedeny typy havárií. Z tabulky je zřejmé, že nejčetnější položkou je položka „poškození životního prostředí“. Tato položka představuje havárie, kdy došlo k úniku kapaliny s potenciálem poškodit životní prostředí. Ne vždy k tomu došlo, v některých případech byla unikající kapalina účinně zachycena. Ze záznamů je zřejmé, že došlo k masivním únikům mycích či odpadních vod nebo melasy v řádech tisíců m<sup>3</sup>, v jednom případě i v řádech desítek tisíců m<sup>3</sup>. Naopak nejméně četnou položkou je položka „disperze“. Tato položka představuje havárie doprovázené únikem plynných látek, které měly potenciál způsobit škody na zdraví či smrt zaměstnanců. V položce „ostatní“ jsou zahrnuty například záplavy, silné deště nebo black-out.

Tab. III. prezentuje kategorie a subkategorie příčin havárií. Kategorie byly převzaty z databáze závažných průmyslových havárií eMARS (29). Je nutné upozornit, že pro stanovení kořenových příčin havárie je nutné získat podrobné informace z reportů. Ne vždy jsou však tyto informace k dispozici. Kategorie příčin byly řazeny v některých případech na základě úsudku, plynoucí z informací o havárii, které se podařilo získat. Jedná se tedy ze své podstaty o subjektivní hodnocení. Navíc v mnoha případech neexistuje pouze jediná příčina havárie. K tomu bylo přihlédnuto i v rámci zpracování výstupu (tab. III.), kdy byla provedena suma všech příčin. Z toho plyne, že absolutní počet příčin je vyšší než počet havárií.

Jako nejčastější příčiny se jeví příčiny organizační. Jedná se například o nedostatečnou analýzu procesu, chyby v návrhu nebo konstrukci zařízení, špatně nebo nedostatečně nastavené postupy atd. Za účelem srovnání lze využít například práci OLIVARESE (30) z roku 2015, která je zaměřena na havárie v zařízeních výroby ethanolu. Autor nevyužívá stejného systému dělení kategorií příčin, některé se však prolínají. Například chyba obsluhy, OLIVARES (30) uvádí hodnotu 3,2 %, z vlastního šetření vyplývá hodnota 2 %. OLIVARES uvádí, že ve 21,6 % bylo příčinou selhání zařízení a ve 4,8 % příčinou byly externí události, tj. v součtu 26,4 %. V rámci vlastního šetření byly výše uvedené kategorie sloučeny v jednu kategorii, kde celkový podíl činí 13 % (tab. III.).

Za účelem prezentace konkrétních příčin byly sestaveny diagramy příčin a následků (tzv. fishbone diagramy). Diagramy jsou uvedené na obr. 4. až obr. 6. Jako vrcholové události byly zvoleny: únik kapalné látky do okolního prostředí (poškození životního prostředí), výbuch a požár. Informace vyplývající z diagramů byly následně použity pro sestavení preventivních opatření, jejichž shrnutí je uvedeno v kapitole Závěr.

Tab. III. Kategorie příčin havárií

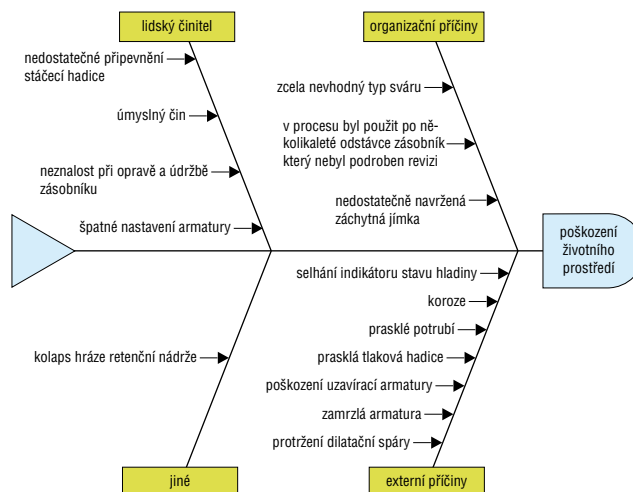
Kategorie	Subkategorie	Relativní počet (%)	Konfidenční interval ( $\alpha = 0,05$ ) (%)
Lidský činitel	Chyba obsluhy	2	5 – 18
	Neplnění povinností	2	
	Úmyslný čin	2	
	Jiný	3	
	Celkem	9	
Organizace	Nedostatečné řízení	3	44 – 65
	Špatně nastavené postupy	7	
	Školení / instrukce	2	
	Dozor	5	
	Analýza procesu	11	
	Návrh zařízení / systému	3	
	Výroba / konstrukce	5	
	Izolace zařízení / systému	1	
	Údržba/oprava	7	
	Testování / kontrola / záznam	2	
	Jiný	4	
	Celkem	50	
	Externí vlivy	Přírodní událost	
Selhání zařízení		7	
Jiný		2	
Celkem		13	
Ostatní	Celkem	3	1 – 9
Neznámé	Celkem	25	19 – 38

### Závěr

Závěrem je vhodné uvést konkrétní preventivní opatření, která lze využít pro zvýšení bezpečnosti provozu zařízení v cukrovarnickém průmyslu. Uvedená preventivní opatření vycházejí z prací HARMANNY (1), dokumentu WHS (11) a výsledků plynoucích z autorské databáze havárií. Nejedná se o konečný a vyčerpávající výčet. Při provozu nebo návrhu zařízení je nutné brát na zřetel příslušné právní předpisy a technické normy. Jako prevence výbuchu lze uvést:

- **Dopravníky:** Detekce skluzu materiálu, synchronizace rychlosti, měření spotřeby elektrické energie, pravidelná diagnostika dopravníků pomocí termovizního měření.
- **Síla a bunkry:** Pro plnění se používá zejména gravitačního způsobu nebo pneumatického. HARMANNY (1) zmiňuje dopravníky jako druhé nejčastější místo, kde dochází k výbuchu cukerného prachu. Zvláště u pneumatické dopravy je pravděpodobný vznik intenzivního elektrostatického pole, které může způsobit iniciaci oblaku prachu. V okolí dopravníků, sil a bunkrů jsou stanoveny zóny s nebezpečím výbuchu. V okolí je nutné

Obr. 4. Diagram příčin a následků – událost „poškození životního prostředí“



používat zařízení do tohoto prostředí určených. Z tohoto důvodu jsou dopravníky vyrobeny z antistatických materiálů a jsou důkladně uzemněny.

Samozřejmostí by měl být pravidelný úklid prostor. V prostředí, kde lze očekávat možnost výbuchu, používat pouze elektrická zařízení do tohoto prostředí určená, mít vhodně nastaven systém povolování prací s otevřeným ohněm (např. svářecích prací), pravidelně školenou obsluhu, neumísťovat do prostor s možností výbuchu nabíječky baterií nebo sodíkové výbojky atd.

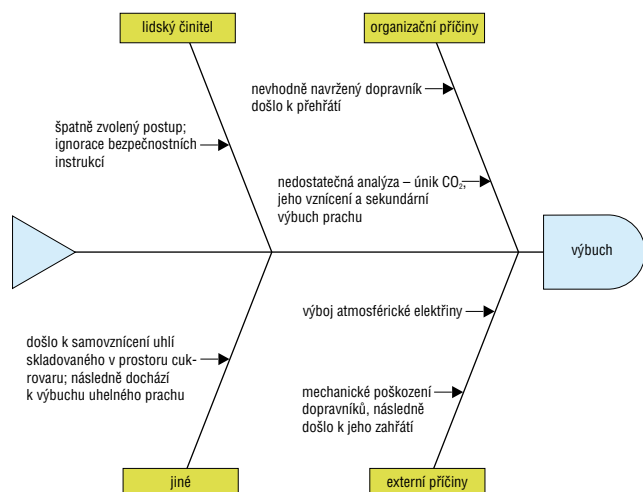
S ohledem na míru rizika je možné uvažovat ve fázi návrhu zařízení o konstrukci odolné proti výbuchu, o instalaci zařízení pro odlehčení nebo potlačení výbuchu, o účinném oddělení jednotlivých zařízení, aby nemohlo dojít k eskalaci události.

Jako prevence úniku kapalin ze zásobníků a nádrží lze uvést: pravidelné kontroly, revize, zahrnující mimo jiné zkoušky těsnosti a analýzu svarů u ocelových zásobníků, instalace zařízení pro detekci úniku kapalin, instalaci havarijních jímek, případně vybudování ochranného valu z jílovité zeminy mezi zásobníkem a povrchovým vodním tokem. Z hlediska možného poškození životního prostředí nebo možným finančním ztrátám je také nutné dodržovat správné zásady skladování melasy, aby nedošlo k nežádoucí Maillardově reakci. Tzn. udržovat nižší teplotu skladování a vyšší hodnotu pH materiálu.

### Souhrn

Pro stanovení konkrétních preventivních opatření pro provoz zařízení v cukrovarnickém průmyslu byla sestavena autorská databáze, která obsahuje seznam havárií v těchto zařízeních od roku 1982 do roku 2018. Analýzou příčin a typu havárií byla následně stanovena preventivní opatření. Za sledované období došlo k 18 úmrtím, 56 těžkým zraněním a 142 lehkým zraněním. Jako hlavní typy havárií jsou uvedeny úniky látky do životního prostředí, výbuch, požár či disperze. Příčiny havárií byly nejčastěji organizačního charakteru (nedostatečná analýza procesu, nastavení postupů, chyba v návrhu či konstrukci zařízení), dále pak byl jako příčina havárie uveden lidský činitel (chyba obsluhy, neplnění povinností, úmyslný čin), externí vlivy (přírodní události, selhání zařízení) a ostatní příčiny. Jako preventivní opatření lze uvést pravidelný úklid prostor, používat schválená elektrická zařízení, pravidelné školení obsluhy, řízený systém prací s otevřeným ohněm atd. Konkrétním opatřením pro

Obr. 5. Diagram příčin a následků – událost „výbuch“



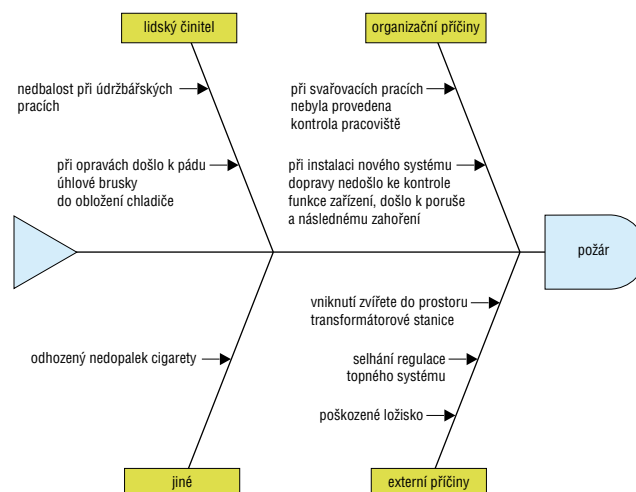
dopravu materiálu je detekce skluzu materiálu na dopravníkovém pásu, synchronizace rychlostí, měření spotřeby elektrické energie či pravidelná diagnostika. Při návrhu nového zařízení využít konstrukcí odolných proti výbuchu a instalaci zařízení na odlehčení či potlačení výbuchu. Prevenci úniku kapalin slouží pravidelné kontroly, revize, instalace zařízení pro detekci úniku apod.

**Klíčová slova:** preventivní opatření, havárie, výbuch, požár, únik, příčina havárie.

## Literatura

- HARMANNY, A.: Sugar dust explosions. *Int. Sugar J.*, 108, 2006, s. 582–589.
- Investigation Report – Sugar Dust Explosion and Fire*. 2009, CSB – U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board. [online] <https://www.csb.gov/imperial-sugar-company-dust-explosion-and-fire/>.
- WESTRAN, M. ET AL.: Dust explosion in sugar silo tower: investigation and lessons learnt. In *Symposium Series No. 154, Hazards XX*, 2008, s. 1–14.
- Lessons Learnt From Industrial Accidents*. ICPE/IMPEL inspectors – Meeting – REIMS, 2001, [online] <http://www.impel.eu/wp-content/uploads/2016/06/2001-03-accidents-FINAL-REPORT.pdf>
- A series of explosions on alcohol tanks at a distillery*. ARIA – Analysis, Research and Information on Accidents, 2001, [online] [https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/wp-content/files\\_mf/A21082\\_ips21082\\_002.pdf](https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/wp-content/files_mf/A21082_ips21082_002.pdf).
- SERAFIN, J. ET AL.: The influence of air flow on maximum explosion characteristics of dust air mixtures. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 26, 2015, s. 209–214.
- ČÍŽ, K.: Výbušnost cukerného prachu. *Listy cukrovarnické*, 83, 1967, s. 210–214.
- TRAORÉ, M. ET AL.: Dust explosions: How should the influence of humidity be taken into account? *Process safety and environment protection*, 87, 2009, s. 14–20.
- Požární technické charakteristiky a technické informace pro potřeby ZPP*. GR HZS ČR, 2015, [online] <https://www.hzscr.cz/soubor/kniha-zpp-ptch-pdf.aspx>.
- ČSN EN 13237: *Prostředí s nebezpečím výbuchu – Termíny a definice pro zařízení a ochranné systémy určené pro použití v prostředí s nebezpečím výbuchu*. ÚNMZ, 2013.
- Sugar mill safety. A supplement to the Sugar industry Code of Practice 2005*. WHS – Workplace Health and Safety Queensland, 2005, 52 s.

Obr. 6. Diagram příčin a následků – událost „požár“



- NOVOTNÝ, M.: *Bezpečnostní inženýrství I – Výbuchy bořlavých plynů a prachů*. Pardubice: VŠCHT Pardubice, 1988.
- PELNÁŘ, R.: Nebezpečí požárů a výbuchů v cukrovarech. *Listy cukrovarnické*, 65, 1949, s. 129–130.
- HOI, L. W. S.; DE BALLYON, J. C. C.: Maillard Reaction in Molasses Storage Tank. In *70<sup>th</sup> Annual Congress, South African Sugar Technologists' Association*, 1996, s. 251–254.
- FOSTER, D. H.: The Explosive Decomposition of Heated Masecutes. In *15<sup>th</sup> Proceeding of International Society of Sugar Cane Technologists*, 1974, s. 1196–1205.
- HUCKER, G. J.; BROOKS, R. F.: Gas Production in Storage Molasses. *Journal of Food Science*, 7, 1942, s. 481–494.
- GETAZ, M.; ARCHIBALD, R. D.; LOVE, D. J.: Experience of Masecuite Pipeline Explosions Caused by the High Temperature Decomposition of Molasses. In *80<sup>th</sup> Annual Congress, South African Sugar Technologists' Association*, 2006, s. 391–398.
- JAMES, C. P.; CHEN, J. C. P.; CHOU, C. C.: *Cane Sugar Handbook: A Manual for Cane Sugar Manufacturers and Their Chemists*. 12<sup>th</sup> ed., Wiley, 1993, 1120 s.
- ŠARIČ, L. Č. ET AL.: Sugar Beet Molasses – Properties and Applications in Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables. *Food and Feed Research*, 43, 2016 (2), s. 135–144.
- ISKANDER, F. Y.: Cigarette Ash as a Possible Source of Environmental Contamination. *Environ. Pollution (Series B)*, 11, 1986, s. 291–301.
- DOTY, G.: *The Burning Sugar Cube: Still Unexplained?* American Chemical Society, 1964, [online] <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ed041p244>.
- MISRA, M.; RAGLAND, K. W.; BAKER, A. J.: Wood Ash Composition as a Function of Furnace Temperature. *Biomass and Bioenergy*, 4, 1993 (2), s. 103–116.
- MELZUCH, K. ET AL.: Možnosti využití a likvidace melasových výpalků. *Kvasný průmysl*, 39, 1993, s. 141–147.
- JENÍČEK, P.; SÝKORA, M.: Možnosti produkce bioplynu z melasových výpalků a odpadních vod lihovarů. *Kvasný průmysl*, 40, 1994 (12), s. 361–366.
- HLUŠTÍK, P.: *Optimalizace návrhových parametrů ČOV v obcích do 2000 EO*. TZB-info, 2019, [online] <https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/18593-optimalizace-navrhovych-parametru-cov-v-obcich-do-2000-eo>.
- Fuite de mélasse dans un bâtiment de stockage d'une sucrerie*. ARIA – Analysis, Research and Information on Accidents, 2016, [online] <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/47914/>.
- Database of accidents*. ARIA – Analysis, Research and Information on Accidents, 2019, [online] <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/the-barpi/the-aria-database/?lang=en>.

Obr. 7. Preventivní cvičení hasičů – lezců v cukrovaru v České Meziříčí v březnu 2018 (foto: HZS Královéhradeckého kraje)



28. R. *A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2013, [online] <http://www.R-project.org/>.
29. *eMARS: The Major Industrial Accident Database*. 2019, [online] <https://emars.jrc.ec.europa.eu/en/emars/accident/search>.
30. OLIVARES, R. D. C.; RIVERA, S. S.; McLEOD, J. E. N.: Database for accidents and incidents in the fuel ethanol industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 38, 2015, s. 276–297.
31. PERRIN, L. ET AL.: Dust and electrostatic hazards, could we improve the current standards? *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 20, 2007, s. 207–217.
32. VORDERBRUEGGEN, J. B.: Imperial Sugar Refinery Combustible Dust Explosion Investigation. *Process Safety Progress*, 30, 2011, s. 66–81.

### Trávníček P., Novotná J., Kotek L.: Accidents in Sugar Plants and Their Prevention

An author database was compiled in order to determine specific preventive measures for the operation of facilities in the sugar industry. The database contains a list of accidents in these facilities from 1982 to 2018. Preventive measures were subsequently determined by analyzing the causes and types of the accidents. There were 18 deaths, 56 serious injuries and 142 minor injuries during the period considered. The main types of accidents are leakage,

explosion, fire, and dispersion. The causes of the accidents were mostly organizational (insufficient process analysis, procedure setting, equipment design or construction error), human factor related (operator error, failure to carry out duties, malicious intervention), external influences (natural events, equipment failure) and other causes. Preventive measures include regular cleaning of premises, use of approved electrical equipment, regular operator training, controlled open-fire system, etc. Specific measures for conveying material include slippage detection on the conveyor belt, speed synchronization, power consumption measurement, and regular diagnostics. When designing new equipment, use explosion-proof constructions and install explosion relief or suppression equipment. Leak prevention is provided by regular visual inspections, revisions, installation of leak detection equipment etc.

**Key words:** preventive measures, accident, explosion, fire, leak, cause of accident.

### Kontaktní adresa – Contact address:

doc. Ing. Petr Trávníček, Ph.D., Mendelova univerzita, Agronomická fakulta, Ústav zemědělské, potravinářské a environmentální techniky, Zemědělská 1665/1, 613 00 Brno, Česká republika, e-mail: [petr.travnicek@mendelu.cz](mailto:petr.travnicek@mendelu.cz)