

BLEVE – fenomén minulosti?

Ing. Štefan Győrög ^{1, 2}

¹ **Krajský úřad Jihočeského kraje, Odbor životního prostředí, zemědělství a lesnictví,**
U Zimního stadionu 1952/2, 370 76 České Budějovice; tel.: +420 386 720 746;

gyorog@kraj-jihocesky.cz

www.kraj-jihocesky.cz

² **Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta,**

Ústav radiologie, toxikologie a ochrany obyvatelstva (URT);

Nemocnice České Budějovice, a. s. – horní areál,

B. Němcové 54, pavilon H, 370 01 České Budějovice;

sgyorog@zsf.jcu.cz

Souhrn

K závažným haváriím, spojeným s únikem a účinky nebezpečných chemických látek, jejichž doprovodným znakem jsou nejen toxický rozptyl, ale také rozptyl výparů hořlavých kapalin či plynů, často doprovázený také požárem nebo fyzikálními a chemickými explozemi, v průmyslových podnicích docházelo již v minulosti, dochází k nim dnes a bude k nim s největší pravděpodobností docházet i v budoucnu.

Přípravenosti na takovéto situace ve velké míře pomůže všeobecná informovanost o již proběhlých haváriích nejen v dotčených výrobních firmách, ale také v rámci obyvatelstva, v blízkosti jejichž obydlí se takováto zařízení nacházejí již historicky, nebo k jejich instalaci bude docházet v rámci nově připravovaných záměrů.

Příspěvek je jednostranným pohledem úředníka, vykonávajícího státní správu na úseku prevence závažných havárií již od roku 2003 a čerpá jen z jemu dostupných informačních zdrojů, které má k dispozici v rámci své profese.

Klíčová slova: BLEVE, tlaková nádoba, LPG, závažná havárie, bezpečnostní dokumentace, poučení z havárií

Úvod

Nejen v chemických podnicích, nehodách při přepravě nebezpečných chemikálií, ale také na parních akumulátorech, dojde jednou za čas k náhlému roztržení a katastrofickému kolapsu obalu nádoby, který byl způsoben náhlým uvolněním látky v nádobě uložené.

V případě, že je v takto postižené nádobě umístěna hořlavá látka, bývá doprovodným fyzikálním jevem vznik ohnivé koule, díky níž bývá takováto událost nesprávně nazývána BLEVE.

Mezi významné takové havárie patří např. velký požár a exploze LPG v rafinerii ve francouzském Feyzinu v roce 1966 nebo v distribučním terminálu v Mexico City v roce 1984.

Příspěvek předkládá pohled na BLEVE a pro potřeby aktualizací bezpečnostních dokumentací provozovatelů též krátký výčet a poučení z těchto havárií.

BLEVE

je akronym anglického výrazu „Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion“, což znamená výbuch expandujících par vroucí kapaliny.

Např. ve výběru 595 zaznamenaných incidentů proběhlých v letech 1911 až 2009 (Obrázek: TABLE A1.5 Some Major Accidents in the Process Industries) [1] je s událostí BLEVE spojeno celkem 28 havárií

(jedna blíže nespecifikována), z nichž se 14 událo při přepravě, 12 ve skladech, terminálech a tankovištích a jedna na absorpční koloně:

TABLE A1.5 Some Major Accidents in the Process Industries			
No.	Date	Location	Plant/Transport/Chemical
68	1951 July 7	Port Newark, NJ	Storage Propane
80	1955 July 19	Ludwigshafen, FRG	Rail tank car
88	1956 October 22	Cottage Grove, OR	Storage LPG
89	1956 July 29	Dumas, TX	Storage vessel HC
93	1957 January 8	Montreal, Quebec	Storage vessel Butane
100	1958 May 22	Signal Hill, CA	Tank farm Oil froth
101	1959 June 2	Deer Lake, PA	Rail tank car LPG
102	1959 May 28	McKittrick, CA	Storage LPG
158	1966 January 4	Feyzin, France	Storage vessels Propane
176	1968 January 1	Dunreith, IN	Rail tank car Ethylene oxide
193	1969 January 25	Laurel, MS	Rail tank car LPG
207	1970 June 21	Crescent City, IL	Rail tank car Propane
222	1971 October 19	Houston, TX	Rail tank car VCM
239	1972 September 21	Rio de Janeiro, Brazil	Storage vessel Butane
251	1973 July 5	Kingman, AZ	Rail tank car Propane
268	1974 April 17	Bielefeld, FRG	
281	1974 February 12	Oneonta, NY	Rail tank car LPG
288	1974 January 11	West St Paul, MN	Storage vessel LPG
295	1975 September 1	Des Moines, IA	Rail tank car LPG
298	1975 August 31	Gadsden, AL	Tank farm Gasoline
314	1976 November 26	Belt, MT	Rail tank car LPG
376	1978 May 30	Texas City, TX	Storage vessel LPG
378	1978 February 24	Waverly, TN	Rail tank car Propane
396	1979 September 8	Paxton, TX	Rail tank car Chemicals
416	1980 March 3	Los Angeles, CA	Road tanker Gasoline
443	1982 September 28	Livingston, LA	Rail tank car Flammables
468	1984 November 19	Mexico City, Mexico	Terminal LPG
470	1984 July 23	Romeoville, IL	Absorption column Propane

Obrázek – TABLE A1.5 Some Major Accidents in the Process Industries [1]

A např. webový portál „WIKIPEDIA, The Free Encyclopedia“, který je sice široce používán jako úvodní zdroj informací, ceněný na jedné straně pro svou dostupnost a rozsah informací, na druhé straně ale kritizovaný za potenciální nepřesnosti a nedostatek odborných recenzí, a její uznání ve vědeckých kruzích je smíšené, pro pojem „BLEVE“ vyhledal celkem 190 záznamů, a to od roku 1926 až po rok 2023 [2].

BLEVE – děj [1], [3], [4], [5], [6]

Zjednodušeně řečeno, jde o výbuch způsobený rozbitím tlakové nádoby obsahující přehřátou kapalinu. K tomuto jevu může dojít několika různými cestami, vždy se ale jedná o skladovací nádobu, ve které se těsně před jejím roztržením nachází kapalina, která nevrže, přestože její teplota překračuje hodnotu teploty varu při tlaku atmosférickém.

Ve skladovací nádobě, obsahující kapalinu ohřátou (např. i v důsledku požáru) nad teplotu jejího normálního bodu varu, pod tlakem vyšším než tlak atmosférický a současně obsahující páry takto ohřáté kapaliny, panuje neúměrně vysoký tlak, který již bezpečnostní tlakový ventil není schopen plynule

snížovat. Dlouhodobému působení vysokých teplot a vysokému tlaku (uvnitř skladovací nádoby) vystavený (např.) tlakový bezpečnostní ventil (nebo přívodní potrubí, manometr, ...) zkolabuje a vytvoří trhlinu (např. odlomením nebo ve svaru), díky které dojde k úniku části výparů, čímž se tlak v nádobě přiblíží tlaku atmosférickému, což ale způsobí další ohřátí kapaliny v nádobě za náhlého vzniku dalšího obrovského množství par, které díky takto nastalé tlakové vlně způsobí roztržení skladovací nádoby a rozlet jejích úlomků. V případě, že je obsah dotčené skladovací nádoby v prostoru, kde se nachází kapalná část jeho obsahu, ohříván přímým požárem, dochází v ní k nárůstu teploty i tlaku, a zároveň i k neúměrnému nahřívání těla nádoby, které je tak oslabeno pod úroveň jejího konstrukčního tlaku, a praská.

Takto lze vysvětlit jev BLEVE z hlediska nadměrného tlaku ve skladovací nádobě (první případ).

K jevu BLEVE ale může dojít s výše popsanou přehřátou kapalinou též poškozením takto namáhané skladovací nádoby mechanickým nárazem (např. letícím fragmentem jiné roztržené skladovací nádoby) nebo korozí oslabeným tělem kovové nádoby (druhý případ), opět dojde k narušení celistvosti vznikem trhliny, ze které náhle uniká část původního obsahu a nastanou další výše popsané děje.

A další cestou vzniku jevu BLEVE (třetí případ) pak je zahřívání skladovací nádoby v prostoru, ve kterém se hromadí páry kapaliny ohřáté nad teplotu jejího normálního bodu varu, plameny požáru, které tak v této části oslabují kovové tělo skladovací nádoby pod úroveň jejího konstrukčního tlaku, což v těchto místech způsobí narušení její celistvosti vznikem skuliny, ze které dojde k náhlému úniku části výparů a dalším výše popsaným dějům.

Je-li ve skladovací nádobě umístěna hořlavá kapalina (nebo zkapalněný hořlavý plyn), vytvoří se v prvních dvou výše popsaných případech z jejich do vnějšího ovzduší rychle uvolněných par oblak sférického tvaru, který se může při iniciaci rychle vznítit/vybuchnout za vzniku velké ohnivé koule (tzv. „fireball“), ve třetím případě může ke vzniku ohnivé koule dojít ihned.

Fireball účinkuje působením vysokého tepelného toku a vzhledem ke své velikosti představuje velké nebezpečí jak pro osoby nacházející se v blízkosti jeho výskytu (vážné popáleniny), tak i pro průmyslové instalace a budovy v okolí (zapálení hořlavých materiálů).

Pokud není únik hořlavé látky z poškozené skladovací nádoby iniciován ihned, dojde k jejímu promíchávání se vzduchem, takže v případě pozdější iniciace může dojít k jevu „flash fire“ nebo výbuchu typu VCE (Vapour Cloud Explosion).

V případě BLEVE tedy lze pozorovat tři doprovodné efekty (poslední pouze v případě hořlavé látky):

- a) vznik tlakové vlny způsobené náhlou fázovou přeměnou kapalina - pára,
- b) vznik úlomků v důsledku prasknutí nádrže,
- c) vznik ohnivé koule „fireball“ (dodatečně též tryskového požáru „flash fire“ nebo výbuchu oblaku par „VCE“)

Proběhlé události

A. Rafinerie, Feyzin, FRANCIE; 4. 1. 1966 [3], [4], [6]

Při nesprávném postupu odkalování (vypouštění vody) z nadzemního kulového zásobníku s propanem objemu 1200 m³ došlo k zamrznutí a ventilů v otevřené pozici, což způsobilo unikání propanu a nahromadění části jeho kapalná fáze v záchytné jímce a vytvoření mraku par, který se snášel nad 22,5 metru vzdálenou dálnicí a byl unášen i na přilehlou hlavní silnici, na které přibližně 100 m od centra úniku jedno vozidlo zastavilo, přičemž došlo k zahoření uniklého mraku propanových par.

Požár se rozšířil zpět a došlo k BLEVE výbuchu dvou sousedících kulových zásobníků za vzniku kráteru a vznícení a otevření zásobníků dalších. Fragmenty roztržených zásobníků odlétly až 700 m daleko, jeden o hmotnosti 48 tun byl nalezen ve vzdálenosti 325 m. Výbuch byl doprovázen vznikem ohnivé koule „fireball“ o průměru 250 m ve výšce 400 m.

B. Distribuční terminál, San Juan Ixhuatepec u Mexico City, MEXIKO; 19. 11. 1984 [3], [4]

Během plnění nadzemních zásobníků LPG terminálu dálkovým potrubím ze 400 km vzdálené rafinerie (2 ze 48 kulových zásobníků přitom byly naplněny na 90% své kapacity, ostatní zásobníky na 50%) zjistili operátoři přečerpávací stanice 40 km před terminálem pokles tlaku v dálkovém produktovodu.

Došlo k prasknutí propojovacího potrubí mezi zásobníky kulovými a ležatými válcovými, což vedlo ke kontinuálnímu 5-10 minut trvajícím úniku dopravovaného LPG za vzniku mraku par (odhadem 200 × 150 × 2 metry), který dosáhl fléry spalující odpadní plyn, jehož plamenem byl iniciován do tryskového požáru „flash fire“, který ihned přešel v prudkou explozi mraku par „VCE“.

Následně došlo k prvnímu BLEVE výbuchu na kulovém zásobníku objemu 1 600 m³ s doprovodnou ohnivou koulí „fireball“ o průměru 300 m, trvajícím 20 sekund, přičemž celkem bylo registrováno 8 jednotlivých BLEVE výbuchů. Některé fragmenty roztržených zásobníků vážily až 30 tun, některé dolétly i 350 metrů hluboko do veřejné zástavby, jiné byly nalezeny až 1200 m daleko.

Poučení z proběhlých závažných havárií

Znalost toho, k jakým závažným haváriím již v minulosti došlo a jaká dodatečná opatření byla v objektech po jejich analýze následně přijata, je klíčová nejen pro další vývoj bezpečných technologií a zdokonalování jejich kontrolních a regulačních systémů, ale také pro důkladnější analýzu včetně hodnocení lidského činitele.

A stejně tak zpětně významně pomohou přesnějším výběru možných havarijních scénářů pro jejich podrobnější analýzu.

Komu je poučení z havárií určeno? [7]

Vedoucí pracovníci v průmyslu a jejich správní orgány - musí uznat potřebu učit se prostřednictvím sdílení a podpory kultury bezpečnosti ve svých organizacích, které podporují poučení z proběhlých havárií.

Společnosti a jednotlivá pracoviště (ve kterých jsou přítomna velká rizika) - se musí poučit z nehod, aby mohly vhodně řídit svá rizika a sdílet tato poučení se svými zaměstnanci a dodavateli, kteří mají významnou roli při kontrole rizik. Malé a střední podniky si musí být vědomy své potenciální zranitelnosti a musí vzájemně spolupracovat v rámci výměny informací.

Příslušné správní úřady - musí uznat svou vlastní potřebu učit se z nehod, aby jimi prováděné kontroly objektů byly efektivnější.

Profesionální inženýři a vědečtí pracovníci (poskytující jakýkoliv druh poradenství v oblasti bezpečnosti procesů, bez ohledu na to, zda pracují v průmyslu, státní správě nebo jako nezávislí konzultanti) - musí sdílet získané vědomosti ve prospěch celé společnosti.

Komunity (ve kterých se již nacházejí nebo budou nacházet objekty s nebezpečným potenciálem) - mohou těžit z poučení spolupodílením se na vývoji strategií na podporu prevence havárií a vylepšením své reakce na události spojené s únikem chemických látek v případě závažné havárie.

Požadavky národního právního předpisu

Novela vyhlášky č. 227/2015 Sb., o náležitostech bezpečnostní dokumentace a rozsahu informací poskytovaných zpracovateli posudku [9], provedená vyhláškou č. 244/2023 Sb. [8], s účinností od 3. 8. 2023 zavedla nově do bezpečnostního programu, bezpečnostní zprávy a do zprávy o posouzení bezpečnostní zprávy požadavek na doplnění informací o poučení z přezkumu dřívějších havárií, které se staly v objektu provozovatele, v podobných objektech v rámci České republiky a ve státech Evropské unie, případně celosvětově a o opatřeních přijatých k zabránění takovému typu havárií.

Poučení z každé konkrétní proběhlé průmyslové havárie, byť k ní došlo na stejném zařízení, se od sebe mohou samozřejmě lišit, jako příklad se podívejme alespoň na dvě již v úvodu zmiňované:

A. Rafinerie, Feyzin, FRANCIE; 4. 1. 1966

1. Zjištěné kritické faktory [4]

- spodní vypouštěcí ventil byl chybně otevřen dříve než vypouštěcí ventil horní (došlo k Joule-Thomsonově jevu - plyn při expanzi přes ventil se ochladil za vzniku vlhkosti a ledu)

- terén pod kulovým zásobníkem byl zarovnaný (umožnil nahromadění uniklého propanu)
- kapacita požárního čerpadla nestačila na ochranu všech kulových zásobníků
- místní hasiči se nesnažili hořící kulový zásobník chladit, protože se mylně domnívali, že bude dostatečně ochráněn svým bezpečnostním přetlakovým ventilem (místo toho nasměrovali své hadice na chlazení 4 sousedních koulí).

2a. Poučení [4]

- opěrné nohy kulového zásobníku by měly být vyztuženy (ochrana proti nárazu letícími fragmenty),
- kulový zásobník a jeho opěrné nohy by měly být izolované (zvýšení požární odolnosti),
- terén pod kulovými zásobníky by měl svažovat směrem ke sběrné jímce umístěné mimo půdorys nádrže (zabránění hromadění úniku pod nádrží),
- měl by být zajištěn vodní systém pro zkrápění vnějšího povrchu koule (a pravidelně testován),
- odvodňovací systém kulového zásobníku by měl zahrnovat dálkově ovládaný, přístupný, požárně bezpečný, rychlouzavírací ventil (v minimální vzdálenosti od nádrže), škrticí ventil pak ve vzdálenosti nejméně 1 m po směru toku a odvodňovací nádobu připojenou k uzavřenému odtoku. Potrubí by mělo mít svařované spoje (kde je to možné) a mělo by být dobře vyztužené (pro minimalizaci vibrací). Šroubované spoje by měly být zakázány (s výjimkou přístrojů),
- měly by být instalovány detektory hořlavých plynů, signalizující do centrálního detekčního systému (pro včasnou detekci úniku).

2b. Poučení [6]

- úprava klasifikace kapalných a zkapalněných uhlovodíků (kritéria vznícení, podmínky zpracování a skladování: přehřátý produkt, produkt zkapalněný tlakem, ...),
- definice nebezpečných zón kolem ropných zařízení – typy 1 a 2 v závislosti na tom, zda se hořlavé páry objevují během běžného provozu nebo za abnormálních podmínek,
- stanovení pravidel pro umístění a zejména odstupových vzdáleností, které je třeba dodržovat mezi samotnými zařízeními, jakož i ve vztahu k externím třetím stranám (domy, silnice, veřejné budovy),
- úprava podle pravidel týkajících se konstrukce a dimenzování havarijních jímek,
- úprava technologií z hlediska proplachovacího potrubí a přetlakových ventilů,
- úprava podle nových konstrukčních pravidel pro hasicí zařízení, pro skladovací zařízení kapalných uhlovodíků a skladovací nádrže na zkapalněné uhlovodíky (použití pěnových koncentrátů, chlazení přílehlých zařízení),
- zveřejnění všeobecných bezpečnostních předpisů (opatření v případě havárie),
- zavedení některých nových pravidel bezpečnosti i se zpětnou účinností ve stanovených lhůtách.

B. Distribuční terminál, San Juan Ixhuatepec u Mexico City, MEXIKO; 19. 11. 1984

1. Zjištěné kritické faktory [4]

- vadné detektory naplnění nádrží,
- nedostatečná vzdálenost mezi zásobníky,
- zásobníky obehnané 1 m vysokými betonovými stěnami (umožňujícími akumulaci LPG),
- absence pasivní protipožární ochrany (např. detektory plynů, požární nádrž, protipožární izolace zásobníků),
- systém dodávky požární vody deaktivován po prvním výbuchu,
- blízkost obytné zástavby,

- zpožděný příjezd zasahujících jednotek kvůli dopravnímu chaosu, když se zpanikaření obyvatelé snažili uprchnout.

2. Poučení [3], [4], [5]

- opěrné již pro účely návrhu provozovny (např. vnitřní uspořádání, rozestupy zařízení, aktivní/pasivní požární ochrana atd.) by měla být vypracována studie dopadů eskalace havárie na instalovaném zařízení (domino efekty),
- skladovací nádrže by měly být vybaveny dálkově ovládanými nouzovými uzavíracími ventily, aby se minimalizovaly ztráty zásob v případě prasknutí potrubí. Pohony těchto ventilů by měly být navrženy tak, aby se nemohly zavřít příliš rychle (zamezení vzniku tlakového rázu - hydraulické kladivo),
- objekty s vysokým nebezpečím by měly mít k dispozici předem stanovené nouzové přísunové a odsunové cesty, které by měly být pravidelně kontrolovány a testovány,
- měly by být prosazovány předpisy pro územní plánování, které specifikují minimální vzdálenosti mezi objekty s vysokým nebezpečím a obytnými budovami.

Literatura

[1] Lees, F.P.: *Lees' Loss Prevention in the Process Industries: Hazard Identification, Assessment and Control*, VOLUME 1, Fourth Edition", Elsevier Butterworth-Heinemann 2012, Elsevier Inc., UK, ISBN 978-012-397189-0

[2] Web. WIKIPEDIA, The Free Encyclopedia: *List of boiling liquid expanding vapor explosions* [on-line 18. 10. 2024]

Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_boiling_liquid_expanding_vapor_explosions

[3] Center for Chemical Process Safety (CCPS), Process Safety Beacon Archives: *Thirty Years Ago – An LPG Tragedy (November 2014)*; American Institute of Chemical Engineers, New York [on-line 15. 10. 2024]

Dostupné z: <https://www.aiche.org/ccps/resources/process-safety-beacon/archives>

[4] Marsh, P.: *Learning lessons from major incidents, Improving process safety by sharing experince*; First (IChemE Centenary) Edition 2022, IChemE Safety and Loss Prevention Special Interest Group, ISBN: 978-1-911446-77-4.

[on-line 15. 10. 2024]

Dostupné z: https://epsc.be/Documents/Incident+Reports/ /2022.05_learning-lessons-from-major-incidents-v10.pdf

[5] Center for Chemical Process Safety (CCPS), Process Safety Beacon Archives: *BLEVE! (November 2009)*; American Institute of Chemical Engineers, New York

[on-line 15. 10. 2024]

Dostupné z: <https://www.aiche.org/ccps/resources/process-safety-beacon/archives>

[6] Analyse, Recherche et Information sur les Accidents (ARIA): *BLEVE in an LPG storage facility at a refinery, January 4, 1966, Feyzin (69 – Rhône) – France*; Médiathèque interactive de référence en accidentologie industrielle (BARPI), Lyon

[on-line 15. 10. 2024]

Dostupné z: <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/?lang=en>

[7] Weibull, B., Fredstrom, C. and Wood, M.: *Learning lessons from accidents*; EUR 30391 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-22951-3, doi:10.2760/450945, JRC120014.

[on-line 15. 10. 2024]

Dostupné z: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC120014>

[8] ČESKO. Zákony pro lidi. Vyhláška č. 244/2023 Sb., kterou se mění vyhláška č. 227/2015 Sb., o náležitostech bezpečnostní dokumentace a rozsahu informací poskytovaných zpracovateli posudku

[on-line 15. 10. 2024]

Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2023-244>

[9] ČESKO. Zákony pro lidi. Vyhláška č. 227/2015 Sb., o náležitostech bezpečnostní dokumentace a rozsahu informací poskytovaných zpracovateli posudku, ve znění vyhlášky č. 244/2023 Sb. [on-line 15. 10. 2024]

Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-227/zneni-20230823>