

PŘÍČINY TECHNOLOGICKÝCH HAVÁRIÍ

Dana PROCHÁZKOVÁ

CAUSES OF TECHNOLOGICAL ACCIDENTS

ABSTRAKT

PRÁCE UKAZUJE DŮSLEDKY HAVÁRIÍ V PRŮMYSLÝCH OBJEKTECH. ZAMĚŘUJE SE PŘEDEVŠÍM HAVÁRIEMI V ZAŘÍZENÍCH, VE KTERÝCH JSOU NEBEZPEČNÉ LÁTKY. UVÁDÍ PŘÍKLAD KONKRÉTNÍ HAVÁRIE A POTÉ UKAZUJE PŘÍČINY HAVÁRIÍ, KTERÉ ODHALIL VÝZKUM.

Klíčová slova: havárie, technologický objekt, příčiny

ABSTRACT

THE PAPER SHOWS THE CONSEQUENCES OF ACCIDENTS IN INDUSTRIAL BUILDINGS. IT FOCUSES MAINLY ON ACCIDENTS IN FACILITIES IN THERE ARE HAZARDOUS SUBSTANCES ARE. IT GIVES AN EXAMPLE OF REAL ACCIDENT, AND THEN IT SHOWS THE CAUSES OF ACCIDENTS, WHICH WERE REVEALED DURING THE RESEARCH.

Key words: accident, technological facility, causes

1. ÚVOD

Technologická havárie s přítomností nebezpečných látek je havárie spojená s destrukcí nebo selháním průmyslového komplexu (tj. složitého technologického systému), při kterém dojde k uvolnění nebezpečných látek, požáru, vzniku tlakové vlny a rozletu úlomků. Potenciál působit škody je vlastní (vrozený) všem nebezpečným chemickým látkám, je projevem jejich konkrétních vlastností, jako jsou hořlavost, výbušnost (směsí jejich par s ovzduším nebo kyslíkem) a toxicita. Práce ukazuje důsledky havárií v průmyslových objektech. Zaměřuje se především haváriemi v zařízeních, ve kterých jsou nebezpečné látky. Uvádí příklad velké havárie v Oppau a poté ukazuje příčiny havárií, které odhalil výzkum.

2. DOPADY A PŘÍČINY HAVÁRIÍ VE VELKÝCH VÝROBNÍCH CELCÍCH

Výzkum [1,2] ukázal, že po uvolnění chemické látky z aparátu mohou nastat tři základní nebezpečné situace: požár (např. požár kaluže, tryskový oheň, ohňová koule, bleskový oheň apod.); výbuch (ohraničeného mraku par, neohraničeného mraku par, kondenzované fáze, expandujících par vroucí kapaliny neboli BLEVE (boiling liquid expanding vapor explosion) apod.) a s ním spojený rozlet úlomků; a toxický rozptýl. Většinou platí údaje uvedené v tabulce 1 [1,2].

Tabulka 1 - Střední vlastnosti havárií v průmyslových objektech.

Typ havárie	Pravděpodobnost výskytu	Potenciál působit úraz	Potenciál působit ekonomické ztráty
Požár	VYSOKÁ	NÍZKÁ	STŘEDNÍ
Exploze	STŘEDNÍ	STŘEDNÍ	VYSOKÁ
Toxický únik	NÍZKÁ	VYSOKÁ	NÍZKÁ

Příčinou havárií je zpravidla kombinace technických a organizačních jevů. Podrobně jsou výsledky sledování technologických havárií v posledních 20 letech popsány v práci [1]. Z předmětné práce vyplývá, že u většiny havárií ve výrobních podnicích došlo ke ztrátě soudržnosti zařízení. Podle [3] počet závažných technologických havárií roste v čase téměř exponenciálně a hlavní příčiny havárií v průmyslu jsou z:

- 54% technické příčiny - mechanické poruchy zařízení (např. koroze); nestandardní situace při výrobě (např. odstávky v provozu, znovu start výroby); nedostatečné materiální a technické vybavení; nesystémová inovace technologie nebo procesu; nekvalitní systém údržby a oprav zařízení; nepořádek; a chyby v automaticke,
- 46% selhání lidského činitele – při návrhu zařízení a procesu; při konstrukci a instalaci zařízení a procesu; při provozu; při provádění údržby; a při řízení lidí a procesů,

což hrubě souhlasí s výsledky výzkumu [4].

Dle výsledků v práci [3] jsou nejčastější chyby, které vedly k technologickým haváriím: 35% chyby při údržbě zařízení; 17% chyby v projekci zařízení; 15% chyby v řízení výroby; 15% chyby pracovníků; 11% chyba při instalaci zařízení; a 7% chyby při zhotovení zařízení a jeho nastavení (software).

Podle [5] je podíl nejvýznamnějších kořenových příčin na vzniku havárií následující: 41% nedostatečné bezpečnostní zařízení a vybavení; 39% nevhodný zásah během pracovní operace; 31% problémy při společné práci; 27% nedostatečná analýza rizik, tj. nerozpoznaný zdroj havárie (nerozpoznaný škodlivý jev); 25% zapnutí / přepnutí zařízení; 25% automatické najetí stroje; 17% nedostatečný čas na interakci v pracovním systému; 15% nedostatečné nebo chybějící znalosti obsluhy; 14% výron energie; 14% provádění standardních operací; 11% nastavení stroje; 11% vypnuté bezpečnostní zařízení / bariéra; 9% vysmeknutí / sklouznutí; 9% stress; 8% nadměrné množství práce pro pracovníka; 5% přehlédnutí nebo podcenění rizika; 4% porucha bezpečnostního zařízení / bariéry; 4% nedostatečná kvalifikace pracovníka; 2% provedené změny bez informování pracovníků; a 2% únava.

Pro názornost je uveden příklad havárie v **Oppau (fa BASF, Německo, 21. 9. 1921)**:

V Oppau, nedaleko Mannheimu, byla v roce 1911 na 8 ha postavena továrna na výrobu dusíkatých hnojiv, která se opírala o směs chloridu draselného a dusičnanu amonného ve stejném poměru. Amoniak pro výrobu dusičnanu amonného byl vyráběn pomocí nového Haber-Bosch postupu, při kterém byl používán atmosférický dusík. V továrně bylo zaměstnáno 8 000 místních lidí. Během války byly amonné soli vyráběny pro vojenské použití, jako složky pro výbušniny, ale po roce 1918 se amonné soli vyráběly pro civilní účely. Od roku 1919 se směs chlorid draselný / dusičnan amonný postupně nahrazovala směsí síranu amonného a dusičnanu amonného v poměru 50/50. Daná směs byla však silně hygroskopická a měla tu nevýhodu, že se tlakem své vlastní hmotnosti při skladování změnila ve ztvrdlou hmotu. Proto bylo běžnou praxí, že k rozvolnění hmoty se do hmoty navrtaly otvory a použily se výbušniny.

Objekt, kde se tento proces prováděl, se nazýval "silo", což byla 60m x 30m x 20m polo zasypaná budova, která byla 4 metry pod zemí. V továrně na umělá hnojiva byl používán střelný prach k rozdrobení ztvrdlé směsi síranu amonného a dusičnanu amonného (50/50). Předmětný způsob byl do osudné hodiny proveden 20 000krát bez nehody [6,7].

V inkriminovaný den, tj. 21 září 1921 ráno bylo do sila uloženo 4500 tun síranu amonného. Jakmile technik v 07:00 připravil otvory pro odpálení náloží v silu, došlo v 07:32 v silu k velmi silné explozi, která vytvořila kráter 90 m x 125 m o hloubce 20 m, obrázek 1.

Podle svědků došlo ke dvěma po sobě jdoucím explozím, první z nich byla slabá a druhá devastující. Seismografický záznam ze Stuttgartu, 150 km od Oppau také ukázal dvě výrazné exploze, k nimž došlo v intervalu půl sekundy. Exploze byla slyšet v Mnichově, vzdáleném 275 km od továrny a způsobila paniku mezi lidmi. Hmotné škody byly hlášeny několik desítek kilometrů od místa nehody (4. část obrázku 1). Tmavě zelený mrak zakryl oblohu v Ludwigshafenu a Mannheimu. Celá oblast pak byla pokryta hustým kouřem, který spolu s přerušením telegrafní a telekomunikační služby ještě ztížily záchranné práce.





Obr. 1 - Výsledok havárie v Oppau – 4 záběry [6,7].



Brzo po výbuchu, došlo k řadě požárů různých zařízení průmyslového podniku a k řadě dalších méně intenzivních výbuchů a ovzduší bylo plné par amoniaku. Oficiálně bylo uvedeno 561 mrtvých, 1952 zraněných a 7500 lidí zůstalo bez přístřeší. Mezi oběťmi byli též cestující ze tří vlaků vezoucích zaměstnance na místo obměny směny. Několik dětí bylo zraněno na cestě do školy, byly poškozeny lodě na řece Rýn a zranění jejich námořníci. Přibližně 80% budov v Oppau bylo zničeno. Značné škody byly hlášeny také v Ludwigshafenu a Mannheimu. V Heidelbergu (30 km od Oppau), přerušily masivní skleněné nečistoty na silnicích dopravu ve městě. Podle článku v New York Times z 29. ledna 1922, byla hmotná škoda stanovena na 321 milionů marek, tj. 1.700.000 \$.

Vyšetřování nehody, které vedla odborná porota v čele s parlamentní komisí, bylo obtížné vzhledem k velkému rozsahu poškození a absenci přímých svědků, kteří byli oběťmi pohromy. Vyšetřování trvalo 2 roky a zpráva byla publikována v roce 1925.

Bylo zjištěno, že jeden ze zážehů provedených v silu, aby se uvolnila masa hnojiva, byl příčinou nehody - některé otvory byly totiž vyvrtány v oblasti zmešklé směsi již předchozího dne. Studium výbušných vlastností směsi 50/50 síranu a dusičnanu amonného a směsi podobného složení ukázalo:

- výbušnost směsi 50/50 při velmi omezených podmínkách a relativně nízké hustotě působí, že exploze je omezena jen na oblast v okolí, kde jsou umístěny výbušniny,
- významný vliv některých fyzikálních vlastností hnojiva (hustota, vlhkost, atd.), na jeho schopnosti explodovat,
- zvýšení koncentrace dusičnanu amonného ve směsi na 50 až 55% a dokonce na 55-60%, přispívá k významnému zvýšení výbušnosti a výbušné síly směsi.

Vyšetřování ukázalo, že několik měsíců před nehodou, byl modifikován výrobní proces: úroveň vlhkosti (2% místo 3 až 4%), a tedy i zdánlivá hustota vyrobené směsi byla nižší než dříve. Odborníci dospěli k závěru, že uvedené změny způsobily, že směs snadněji explodovala. Kromě toho několik shodujících se svědectví vedlo k domněnce, že složení hromady 4500 tun směsi v zásobníku, který byl postaven až v měsíci před výbuchem, nebylo jednotné. Mohlo tam být několik desítek tun směsi s bohatším obsahem dusičnanu amonného.

Výsledný scénář vysvětlující nehodu byl sestaven takto:

- otvory byly vyvrtány v oblasti obsahující 55 až 60% směsi dusičnanu amonného,
- při spalování daná směs obohacená dusičnanem amonným explodovala a přivedla i sousední směs 50/50 k detonaci,
- pouze 10% zásoby bylo zapojeno do výbuchu, celý obsah síla nevybuchl, a to zejména v zónách složení 50/50, kde hustota produktu byla relativně vysoká.

Rozsah věcných škod a ztrát na životech udělaly záchranné operace obzvláště obtížnými. Záchranné služby, které byly rychle upozorněny, nemohly dorazit na místo před 9:00 hodinou z obav z nových výbuchů. Francouzská armáda se sídlem v Ludwigshafenu a Mannheimu vytvořila bezpečnostní linii kolem místa.

Nouzové služby (lékaři, hasiči, sanitky, francouzští a němečtí dobrovolníci Červeného kříže, armáda, atd.), přijeli ze sousedních měst. Soukromá a veřejná vozidla byla zabavena a použita k přepravě raněných.

Nouzová nemocnice se sídlem v Ludwigshafenu byla velmi brzo plná a zranění museli být převezeni do Mannheimu, Heidelbergu, Frankenthalu a Wormsu.

Bezdomovci byli ubytováni ve školách, sanatoriích nebo v rodinách v okolních městech. Mnozí však odmítli opustit své zničené domovy.

3. Souhrn znalostí o velkých haváriích

Dosavadní výsledky systematické analýzy havárií [1] ukazují, že příčinou většiny nehod, které vyústily v havárii, je v různé míře lidská chyba (lidský činitel). Např. operátor otevřel ventil a způsobil únik plynné toxické chemické látky s různými dopady. V pozadí však jsou mnohdy jiné – „předchozí“ chyby způsobené faktory, jako např.: nedostatečný výcvik, špatná komunikace, chybná konstrukce, špatné řízení, špatné provozní předpisy, nedostatky v bezpečnosti práce, pracovní prostředky neodpovídající dané situaci apod., tj. mluví se o organizačních haváriích [8-10], jak již bylo uvedeno výše.

Proto od počátku 80. let se věnuje pozornost zjištění primárních (počátečních) příčin havárií (v angličtině nazývané „Root Causes“). Předmětné šetření klade velké požadavky na dostatečný popis havárie a na vyšetření jejich příčin. Proto se dnes všechny možné havárie analyzují nejen v oblasti chyby operátora, ale i v oblasti ochranného systému, správnosti norem a provozních předpisů, dostatečnosti výcviku, školení vyšetřovatelů havárie.

V souvislosti se sledovanou problematikou si je třeba uvědomit, že pro vyšetřování příčiny havárií nestačí jen osvojení technik, jako FTA, HAZOP apod. [11,12], kterými nelze zjistit příčiny havárií, které jsou důsledkem emergentních interdependences, tj. jevů, které se projevily jen za jistých podmínek. Podle teoretického rozboru autorky a podle jejich zkušeností z praxe **zmíněné techniky jsou schopny odhalit jen příčiny, které leží v nastavených procesech a nevidí spouštěcí jevy (triggers), které tkví v náhlých propojeních** (přeskočení jiskry mezi sousedními obvody navzdory izolaci, reakce vyvolané nezvyklými meteorologickými podmínkami, neočekávané velká vnější pohroma apod.). Proto je třeba šetření velkých havárií provádět v kontextu SoS [13-15] metodami rizikového inženýrství.

Dosavadní provedené analýzy havárií provedené v širokém kontextu, tj. nejenom podle struktury provozu, [1,2] ukázaly, že příčinami havárií složitých technologických systémů jsou:

- Externí systémy, tj. vlivy mimo hranice systému, které na něj působí, ale nejsou významně ovlivněny systémem samotným, jako: vliv nové legislativy; vliv externích inspektorů; nedostatečná podpora mateřské společnosti; tlak od zákazníků; know-how; nedostatečné vazby mezi vnějšími službami; nedostatečné informace o toxicitě a způsobu léčení postižených chemickými látkami; nátlakové skupiny; přehnaný místní stavební rozvoj; vývoj v životním prostředí.
- Klima v systému, tj. vlivy jako obchodní faktory, kultura ve společnosti, bezpečnostní kultura a technické know-how, které reprezentují víru, vnímání a očekávání jednotlivci uvnitř této společnosti, jako: nedostatečné procesní a technologické know-how; nedostatečné průmyslové normy; změněné požadavky na umístění; záměrná porušení; pojišťovací požadavky; veřejné mínění; nekorektní oznámení rizik; nedostatek personálu a zařízení; nedostatek nároků na výroby; výrobní kapacita; rozmístěn zdrojů a dostupnost; investiční strategie; expanze do méně obydlených nebo méně bezpečných oblastí; zájem na profitu; nedostatečné zkušenosti; sociální postoje; špatný přístup managementu k bezpečnosti; nízké uvědomění o rizicích.
- Organizace a řízení, tj. možnosti pro řešení problémů a učinění závěrů v systému jako: nedostatečná strategie; nedostatečné pracovní priority; absence bezpečnostního oddělení; není deklarace bezpečnostní politiky; nejasné směrnice k bezpečnosti nebo řízení rizika; nedostatečná organizační rozhraní; nevyjasněné vztahy mezi skupinami; nedostatečná komunikace; nedostatečné projekční a inženýrské zabezpečení; špatné umístění zařízení; nedostatečná analýza rizika; nedostatečné finance; nedostatečná výrobní kapacita; úroveň obsluhy.
- Umístění objektu a výrobní zařízení ve vztahu k projektu a jeho realizaci, jako: chybné určení bezpečnostních zón a oddělení zařízení; nedostatečná bezpečnostní zařízení; nedostatečné nouzové postupy; nedostatečná ochrana před vnějšími riziky; nedostatečná dokumentace; nedostatečné určení požadavků; nedostatečná předběžná analýza rizika; chyby ve stavbě; neodpovídající montáž zařízení podle projektu; chyby v řízení prací; nevhodný způsob dopravy; nevhodné skladování a skladování ve velkých objemech; nevhodné použití materiálu.
- Technická integrita, tj. otázky spolehlivosti a použitelnosti zařízení, včetně života zařízení - projekt, stavba, provoz, údržba a kontrola jako: nedostatečný projekt nebo specifikace služby; nedostatečná kontrola kvality; nevhodné nástroje a zařízení; nedostatečná výrobní pohotovost; nedostatečná dokumentace; nepřiměřené prodloužení životnosti zařízení; nedostatečná preventivní údržba; nekvalifikované a nedostatečně provedené opravy; nevhodná modifikace; nedostatečné řešení změn; nevhodné standardy; nevhodné specifikace a/nebo projektová kritéria.
- Kontrola řízení z pohledu řízení bezpečnosti jako: chybějící kapitál; chybějící personál nebo čas; nepřiměřené plánování a kontrola zdrojů; nedostatečná provozní opatření; nedostatečné korigující akce; nedostatečná odezva na změnu; změna v technologii, zařízení nebo postupech; chyba ve vnímání nebo výběru mezi podmínkami; nedostatečný bezpečnostní výcvik nebo technické znalosti; nedostatečné definování odpovědnosti; akceptování rizika na příliš nízké úrovni; nesprávné příkazy a delegování; nedostatečná kontrola pracovního klimatu a praktik; nejasné nebo konfliktní určení odpovědnosti; zanedbávání bezpečnostních faktorů; chybějící přehled o bezpečných postupech; chabé nouzové plánování; špatná koordinace havarijní odezvy uvnitř/v okolí zařízení.
- Komunikace a informace, tj. informace životně důležité z hlediska bezpečného provozu zařízení jako: nedostatečná verbální komunikace; nedostatek informací; chybné informace o zařízení a procesu; nedostatečné informace o materiálu; nedostatečné modelování scénářů havárií; nedostatečná bezpečnostní dokumentace; absence informačních kanálů; nedostatečný monitoring a sběr dat; nedostatečné informování; nesprávná odezva na informace; nevhodné řídicí centrum; nedostatečné znalosti modelů úniků; nedostatečné postupy odezvy; absence informačních kanálů pro případ havárie; přetížení zařízení.
- Postupy a praxe, tj. jasné postupy pro bezpečný způsob nakládání s nebezpečnými látkami, výrobní postupy a operace jako: nepřiměřené provozní/údržbářské postupy; nedostatečná pracovní disciplína; nedostatečná identifikace zdrojů rizik; nedostatečné modelování scénářů; žádné nebo nedostatečné postupy hodnocení rizik; nedostatečná kontrola kvality produktů; nedostatečný audit; nedostatečné úvahy o zdraví a bezpečnosti; nedostatečné plánování; absence řízení pro havarijní postupy; nepřiměřený výcvik; nepřiměřené informování o nehodě; nedostatečné vyšetření nehody.
- Pracovní prostředí, tj. pracoviště a podmínky na pracovišti jako: stres, přetížení; špatné pracovní podmínky; nedostatečná ochrana; nedostatečná péče o zdraví pracovníků; neposkytnutí řádných pracovních podmínek; nedostatečné určení rizik; malý důraz na dodržování bezpečnostních opatření; slabá kontrola; špatná organizace práce; nedostatek zkušených pracovních sil; nedostatečné technické porozumění.
- Výkon obsluhy, tj. provozní obsluha, inspektoři, údržba a další jako: nedostatečné výběrové řízení; nedostatečný počáteční výcvik a zácvik; nedostatečné fyzické a mentální předpoklady; nedostatečná motivace; nedostatek vzdělání a zkušenosti; žádné nebo nedostatečné školení; nedostatečné hodnocení školení; nepřiměřené pracovní normy; odchylky od pracovních postupů; nedostatečné bezpečnostní hranice; nízká úroveň bezpečnostních opatření.

Na základě získaných znalostí a zkušeností je třeba následující běžné cíle vyšetřování velkých havárií:

- identifikovat to, co se stalo, jak se to stalo a proč se to stalo,
- systematické zkoumání lidských a technických faktorů,
- sběr informací pro možné legislativní a pojistné nároky,

- tvorba databáze údajů, možných řešení a poučení se z chyb,
- pojmenování příčin provozních obtíží,
- identifikování neodpovídajících výkonových standardů pro zkoumaná a vztažná zařízení,
- určení primární příčiny nehody,
- konstruktivnost (za vinu by se měla dávat pouze úmyslná porušení či přestupky),
- podpora hlášení o skoronehodách a vlastním pozorování,
- splnění zákonných oznamovacích a informačních požadavků,

doplňit o systematické hledání interdependences, které vedly k selhání zabezpečovacích a bezpečnostních systémů, anebo k chybné odezvě na havárii, a teprve na jejich základě provádět zodolnění. Přitom je nutno mít na paměti, že: co není zaznamenáno, nemůže být zkoumáno a vyšetřováno; co není vyšetřováno a zkoumáno, nemůže být změněno; a co nemůže být změněno, nemůže být zlepšeno. Důkladně je třeba prověřovat všechny fyzické důkazy a odpovědnosti jak řídicího týmu, tak jednotlivých zúčastněných.

3. VÝSLEDKY STUDIA HAVÁRIÍ

Analýza příčin minulých havárií ukazuje, že problematika je značně složitá a její řešení vyžaduje vysoký odborný nadhled a skutečnou snahu řešit problémy, a to jak v oblasti řízení, tak v oblasti inženýrských disciplín. Příčiny havárií jsou rozmanité a většinou jde o kombinaci několika příčin.

Při vyšetřování havárií obvykle hledáme příčiny primární. Existují různé kategorie primárních příčin. V nich jsou určitá klíčová slova, která charakterizují určitou množinu jevů / stavů / provedení / atd., tzv. „před-podmínek“ pro selhání.

Pro ukázkou je uvedena tabulka 2, která uvádí ve sloupci „některé příklady“ vždy pouze několik vybraných příkladů určitého zájmového okruhu.

Tabulka 2 - Vybrané primární příčiny nehod, které vyústily v havárie a jejich příklady; převzato z [2].

Kategorie primárních příčin	Původce	Příklady
Externí systémy (vlivy mimo hranice systému, které na něj působí, ale nejsou významně ovlivněny systémem samotným)	Správní orgány	Vliv nové legislativy Vliv externích inspektorů
	Průmyslové a obchodní subjekty	Nedostatečná podpora mateřské společnosti Tlak od zákazníků Know-how
	Spolupráce s externími nouzovými službami	Nedostatečné vazby mezi vnějšími službami Nedostatečné informace o toxicitě a způsobu léčení postižených chemickými látkami
	Veřejnost	Nátlačové skupiny Přehnaný místní stavební rozvoj Vývoj v životním prostředí
Klima v systému (vlivy jako obchodní faktory, kultura ve společnosti, bezpečnostní kultura a technické know-how, které reprezentují víru, vnímání a očekávání jednotlivci uvnitř této společnosti)	Technické znalosti	Nedostatečné procesní a technologické know-how Nedostatečné průmyslové normy
	Legislativa / předpisy	Změněné požadavky na umístění Záměrná porušení Pojišťovací požadavky
	Politické klima / nátlačové skupiny	Veřejné mínění Nekorektní oznámení rizik
	Ekonomické klima / obchodní faktory	Nedostatek personálu a zařízení Nedostatek nároků na výrobky Výrobní kapacita
	Obchodní zaměření	Rozmístěn zdrojů a dostupnost Investiční strategie Expanze do méně obydlených nebo méně bezpečných oblastí
	Kultura společnosti	Zájem na profitu Nedostatečné zkušenosti Sociální postoje
	Kultura bezpečnosti	Špatný přístup managementu k bezpečnosti Nízké povědomí o rizicích

Organizace a řízení (možnosti pro řešení problémů a učinění závěrů v systému)	Posloupnost rozhodování	Nedostatečná strategie Nedostatečné pracovní priority Absence bezpečnostního oddělení
	Závazek k bezpečnosti	Není deklarace bezpečnostní politiky Nejasné směrnice k bezpečnosti nebo řízení rizika
	Interakce s interními/externími systémy	Nedostatečná organizační rozhraní Nevyjasněné vztahy mezi skupinami Nedostatečná komunikace
	Kvalita zajištění základny	Nedostatečné projekční a inženýrské zabezpečení Špatné umístění zařízení Nedostatečná analýza rizika
	Výrobní zdroje	Nedostatečné finance Nedostatečná výrobní kapacita Úroveň obsluhy
Umístění objektu a výrobní zařízení (vztahuje se k projektu a jeho realizaci)	Umístění zařízení a jeho projekt	Chybné určení bezpečnostních zón a oddělení zařízení Nedostatečná havarijná zařízení Nedostatečná ochrana před vnějšími riziky
	Inženýrství a výrobní projekt	Nedostatečná dokumentace Nedostatečné určení požadavků Nedostatečná předběžná analýza rizika (PHA)
	Zadání a realizace zařízení	Chyby ve stavbě Neodpovídající montáž zařízení podle projektu Chyby v řízení prací
	Doprava, skladování, zpracovávání materiálu, odpad materiálu	Nevhodný způsob dopravy Nevhodné skladování a skladování ve velkých objemech Nevhodné použití materiálu
Technická integrita (otázky spolehlivosti a použitelnosti zařízení, včetně života zařízení - projekt, stavba, provoz, údržba a kontrola)	Kvalita zařízení	Nedostatečný projekt nebo specifikace služby Nedostatečná kontrola kvality Nevhodné nástroje a zařízení
	Použitelnost, dostupnost	Nedostatečná výrobní pohotovost Nedostatečná dokumentace Nepřiměřené prodloužení životnosti zařízení
	Údržba	Nedostatečná preventivní údržba Nekvalifikované a nedostatečně provedené opravy
	Vylepšení zařízení / modifikace	Nevhodná modifikace Nedostatečné řešení změn
	Standardy	Nevhodné standardy Nevhodné specifikace a/nebo projektová kritéria
Kontrola řízení (vzhledem k bezpečnostnímu managementu)	Umístění zdrojů a vývoj	Chybějící kapitál Chybějící personál nebo čas Nepřiměřené plánování a kontrola zdrojů
	Monitoring, kontrola kvality a audit	Nedostatečná provozní opatření Nedostatečné korigující akce
	Řízení změn	Nedostatečná odezva na změnu Změna v technologii, zařízení nebo postupech
	Kompetence / způsobilost managementu	Chyba ve vnímání nebo výběru mezi podmínkami Nedostatečný bezpečnostní výcvik nebo technické znalosti
	Odpovědnost	Definování odpovědnosti Akceptování rizika na příliš nízké úrovni
	Dohled a kontrola	Nesprávné příkazy a delegování Nedostatečná kontrola pracovního klimatu a praktik
	Odpovědnost za bezpečnost	Nejasné nebo konfliktní určení odpovědností Zanedbávání bezpečnostních faktorů Chybějící přehled o bezpečných postupech
	Kvalita obsluhy zařízení za normálních, abnormálních a kritických podmínek	Chabé havarijní plánování Špatná koordinace havarijní odezvy uvnitř/v okolí zařízení
Komunikace a informace životně důležité z hlediska	Kvalita informací	Nedostatečná verbální komunikace Nedostatek informací Chybné informace o zařízení a procesu

bezpečného provozu zařízení)	Bezpečnostní informace	Nedostatečné informace o materiálu Nedostatečné modelování scénářů havárií Nedostatečná bezpečnostní dokumentace
	Informační kanály	Absence informačních kanálů Nedostatečný monitoring a sběr dat
	Média	Nedostatečné informování Nesprávná odezva na informace
	Kvalita odezvy a informování v případě havárie	Nevhodné řídicí centrum Nedostatečné znalosti modelů úniků Nedostatečné havarijní postupy
	Komunikace v případě havárie	Absence havarijních informačních kanálů Přetížení zařízení
Postupy a praxe (jasné postupy pro bezpečný způsob nakládání s nebezpečnými látkami, výrobní postupy a operace)	Pracovní postupy a praktiky	Nepřiměřené provozní/údržbářské postupy Nedostatečná pracovní disciplína
	Bezpečnostní studie	Nedostatečná identifikace zdrojů rizik Nedostatečné modelování scénářů Žádné nebo nedostatečné postupy hodnocení rizik
	Kontrola kvality	Nedostatečná kontrola kvality produktů Nedostatečný audit Nedostatečné úvahy o zdraví a bezpečnosti
	Provozní postupy pro abnormální a kritické situace	Nedostatečné plánování Absence řízení pro havarijní postupy Nepřiměřený výcvik
	Informování o nehodě	Nepřiměřené informování o nehodě Nedostatečné vyšetření nehody
Pracovní prostředí (pracoviště a podmínky na pracovišti)	Pracovní prostředí	Stres, přetížení Špatné pracovní podmínky Nedostatečná ochrana
	Péče o pracující	Nedostatečná péče o zdraví pracovníků Neposkytnutí řádných pracovních podmínek
	Kultura bezpečnosti	Nedostatečné určení rizik Malý důraz na dodržování bezpečnostních opatření
	Bezprostřední dozor a podpora	Slabá kontrola Špatná organizace práce Nedostatek zkušených pracovních sil Nedostatečné technické porozumění
Výkon obsluhy (provozní obsluha, inspektoři, údržba a další)	Přijímání do práce	Nedostatečné výběrové řízení Nedostatečný počáteční výcvik a zácvek
	Osobní vlastnosti	Nedostatečné fyzické a mentální předpoklady Nedostatečná motivace Nedostatek vzdělání a zkušeností
	Školení	Žádné nebo nedostatečné školení Nedostatečné hodnocení školení
	Pracovní disciplína	Nepřiměřené pracovní normy Odchyly od pracovních postupů
	Bezpečnostní a provozní hranice (tolerance)	Nedostatečné bezpečnostní hranice Nízká úroveň bezpečnostních opatření

Příčiny většiny havárií nejsou jednoduché, obvykle jde o souběh celé řady příčin a popřípadě náhodných kombinací příčin.

Postup pro určení mnohonásobných příčin vychází z cíle vyšetřování nehody, kterým je zabránit opakování nehody tím, že:

- identifikujeme a oceníme příčiny (primární příčiny a přispívající příčiny),
- identifikujeme a oceníme doporučená preventivní opatření, která redukují pravděpodobnost vzniku nehod a / nebo dopady nehod,
- zajistíme efektivní provádění a sledování všech doporučených opatření.

Scénář postupu je následující:

1. Shromažďování důkazů.
2. Určení chronologického vývoje událostí.
3. Seznam faktů.

4. Vytvoření logického stromu událostí.
5. Přezkoumání a potvrzení úplnosti logického stromu procesu při srovnání s fakty, které se získáme z odpovědi na otázky:
 - Je logický strom úplný?
 - Jsou identifikované příčiny systémové příčiny?
 - Je celkový přehled výsledků v souladu s logickými pravidly?
 - Byly uváženy všechny informace?

Pokud jsou odpovědi na všechny otázky ANO, tak se zpracují doporučení na zvýšení bezpečnosti s ohledem na mnohonásobné příčiny. Pro tvorbu logického stromu se používá metodika FTA (Fault Tree Analysis) [11,12].

Po zkušenostech s dopady velkých technologických havárií je dnes pro každý objekt nebo území důležité, aby tvořily bezpečný systém, tj. aby nebyl ohrožen ani zevnitř, ani zvenku a aby neohrožoval své okolí.

Moderní typ řízení, který se k uvedenému cíli používá, je procesní řízení, které je strategické, systémové a proaktivní a je zaměřené na bezpečnost.

Pro jeho implementaci je velmi důležité pochopení příčin možných havárií a instalace specifických opatření a činností, které zajistí kvalitní prevenci a v případě vzniku havárie kvalitní a rychlou odezvu, která zmírní dopady a sníží újmy na chráněných aktivech veřejných i vlastníka objektu.

ZÁVĚR

Základním principem řízení bezpečnosti technologických objektů, které zajistí prevenci havárií, a když již havárie vznikne, tak její kvalifikované zvládnutí, je kvalifikované propojení oblastí technické, organizační, finanční, personální, sociální, znalostní; a jasně role a povinnosti všech zúčastněných. Systém řízení bezpečnosti kritických zařízení, tedy pokrývá řadu oblastí, a to technickou, vojenskou, legislativní, finanční, ekonomickou, sociální, ekologickou, vzdělávací, výzkumnou, atd.

Úkoly v oblasti bezpečnosti, na základě současných znalostí a současného pojetí důmyslných bezpečnostních systémů, mají všichni účastníci. Úkoly jednotlivých zúčastněných a jejich propojení v různých situacích musí být stanoveny zákony, morální a dalších standardů a norem.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- [1] PROCHÁZKOVÁ, D. - PROCHÁZKA, J. - PROCHÁZKA, Z., 2015: Výsledky hodnocení technologických havárií s přítomností nebezpečných látek. ISBN:978-80-7385-158-3, ISSN 1803-7372. Ochrana obyvatelstva - Nebezpečné látky 2015. Ostrava: SPBi, pp 144-151
- [2] PROCHÁZKOVÁ, D. - BUMBA, J. - SLUKA, V. - ŠESTÁK, B., 2008: Nebezpečné chemické látky a chemické přípravky a průmyslové nehody. ISBN 978-80-7251-275-1. Praha: PA ČR, 2008, 420p.
- [3] GALLAGHER, T. - SCOTT, M., 2007: The Complementary Role of Dominant Designs and Industry Standards. IEEE Transactions on Engineering Management. 52(2007), 2, pp 371-379.
- [4] XENIDIS, Y. - GIANNARIS, K., 2015: Modeling and assessment of performance shaping factors in construction. In: Safety and Reliability: Methodology and Applications. ISBN: 978-1-138-02681-0. London: Taylor & Francis Group, pp 1019-1026.
- [5] ISSA. - ISSA Prevention Series. - ISSN 1015-8022, ISBN 92-843-1177-2, Heidelberg: ISSA, 75p.
- [6] [on-line] Available on - URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Ammonium_nitrate_disasters
- [7] [on-line] Available on - URL: http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/ressources/14373_gb.pdf
- [8] REASON, J., 1990: Human error. - Cambridge: Cambridge University Press.
- [9] PROCHÁZKOVÁ, D., 2014: The human factor and its handling. Chapter 7. In: Y. Chen and L. Li (edited book). Advances in Intelligent Vehicles, Academic Press 2013, ISBN:10:0123971993, ISBN:13:978-0-12-397199-9 Elsevier, Oxford 2014, ISBN:978-0-12-397199-9. - [on-line] Available on - URL: <https://www.elsevier.com/books/advances-in-intelligent-vehicles/chen/978-0-12-397199-9>
- [10] PROCHÁZKOVÁ, D., 2011: Ochrana osob a majetku. - ISBN: 978-80-01-04843-6. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 301 p.
- [11] PROCHÁZKOVÁ, D., 2011: Analýza a řízení rizik. - ISBN: 978-80-01-04841-2. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 405 p.
- [12] PROCHÁZKOVÁ, D., 2011: Metody, nástroje a techniky pro rizikové inženýrství. ISBN: 978-80-01-04842-9. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 369p.
- [13] OECD, 2002: Guidance on safety performance indicators. Guidance for industry, public authorities and communities for developing SPI programmes related to chemical accident prevention, preparedness and response. Paris: OECD, 191p.
- [14] PROCHÁZKOVÁ, D., 2013: Základy řízení bezpečnosti kritické infrastruktury. - ISBN:978-80-01-05245-7. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 223p.

- [15] PROCHÁZKOVÁ, D., 2012: Bezpečnost kritické infrastruktury. - ISBN: 978-80-01-05103-0. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 318p.

ADRESA AUTORA:

Dana Procházková, doc., RNDr., PhD., DrSc.,

České vysoké učení technické v Praze, fakulta dopravní, Konviktská 20, 110 00 Praha 1, Česká republika, e-mail: prochazkova@fd.cvut.cz

RECENZIA TEXTOV V ZBORNÍKU

Recenzované dvomi recenzentmi, členmi vedeckej rady konferencie. Za textovú a jazykovú úpravu príspevku zodpovedajú autori.

REVIEW TEXT IN THE CONFERENCE PROCEEDINGS

Contributions published in proceedings were reviewed by two members of scientific committee of the conference. For text editing and linguistic contribution corresponding authors.