

Spolehlivost lidského činitele v některých událostech

Studijní materiál

1. Lidský činitel a lidské chyby v příkladech některých havárií

Pokud sledujeme rozdělení havárií podle vědomostí, jaký druh materiálu se havárie zúčastnil, pak cca 11 % havárií byl neznámý materiál a 89 % známý materiál (z tohoto podílu bylo 53 % kapalina, 17 % plyn zkapalněný stlačením, 13 % plyn, 7 % pevná látka, 4 % roztok, 2 % prášek nebo prach, 2 % plyn zkapalněný podchlazením, aj.).

Pokud rozdělíme havárie podle nebezpečných vlastností materiálu, který se havárie zúčastnil, pak cca ve 3 % to byla neznámá rizika a v 97 % známá rizika (z toho %podíl případů s minimálně jednou nebezpečnou vlastností: 70 % hořlavost, 30 % toxicita, 7 % výbušnost).

Členění havárií podle typu havárie vypovídá, že cca ve 4 % šlo o neznámý typ havárie a v 96 % to byl známý typ havárie: 51 % ztráta soudržnosti zařízení, 44 % požár, 36 % výbuch, 12 % mrak plynů.

Pokud rozdělíme havárie podle původu havárie, pak cca ve 3 % šlo o neznámý původ, ale 97 % havárií mělo známý obecný původ, a to v 39 % to byla doprava, 25 % chemická výroba, 17 % průmyslové skladové zařízení, 8 % vykládání a/nebo nakládání, 6 % domácnosti a obchod, 4 % velkoobchodní skladiště, 1 % skládky odpadu.

Při sledování rozdělení havárií podle příčiny havárie zjistíme, že pouze u 67 % havárií je v databázi uvedena příčina. Tento zjištěný podíl se dělí dále na 35 % případů, kdy šlo o náraz, 33 % mechanická porucha, **24 % lidský faktor** - z kterého dalším rozdělením dostáváme, že se v 33 % jednalo o obecné operace 18 % postupy, 11 % údržba, 6 % řízení, atd., a až na konci příčin je teprve v 1 % chyba konstrukce.

Pokud bychom i předchozí rozdělení havárií podle různých klíčů podrobili hlubšímu zkoumání, zjistíme, že lidský faktor, resp. jeho působení, bychom mohli najít i za jinými fakty ze sledovaného souboru, takže procentuální podíl počátečních nežádoucích událostí přímo či nepřímo ovlivněných lidským faktorem by výrazně vzrostl. V jiných činnostech je to podobné, např. se uvádí, že téměř 80 % všech havárií v letectví je přičítáno lidské chybě, u chemického průmyslu se odhaduje 80 až 90 % (*FAA Research 1989 – 2002. Human Factors in Aviation Maintenance and Inspections/Strategic Program Plan (1998); zdroje HSE; aj.*). Mnohdy zcela nevinně vypadající nežádoucí události mohou mít za nepříznivé souhry okolností naprosto fatální následky. To můžeme ale v řadě případů ovlivnit právě správně chápanou a hlavně dobře vyhodnocenou spolehlivostí lidského činitele ve všech stupních lidského konání v různých aktivitách. Další část této kapitoly seznamuje se závěry z vyšetřování některých havárií a názorně ukazuje, kde nastaly chyby ohledně lidského činitele. To dává podnět k hlubokému zamyšlení, zda přeci jenom by se něco podobného nemohlo stát i jinde, např. u nás...

Havárie s požárem a/nebo výbuchem

Flixborough, severovýchodní Anglie	
Klasifikace havárie:	Exploze, požár
Datum:	1.6.1974
Výrobní proces:	Výroba kaprolaktamu – oxidace uhlovodíků v kapalné fázi
Událost:	Mohutná exploze
Počet mrtvých:	28 (v závodě)
Počet zraněných:	Různé údaje: 36 (Kirchsteiger) ošetřeno přes 400 (Wells) 104 (časopis)
Škoda:	412,2 milionů dolarů
Kritická událost:	Únik 30 t uhlovodíku, převážně cyklohexanu

Oblak, obsahující přibližně 30 t hořlaviny (převážně cyklohexanu) ve směsi se vzduchem, rozprostřený nad závodem „Nypro chemical plant“ explodoval. Bezprostředně při explozi a následnými jevy této exploze došlo k 28 úmrtím (vše v závodě), mnoha zraněním a demolici zařízení v areálu podniku (90% budov utrpělo škody, primárním faktorem byla tlaková vlna). Řada zraněných a mnoho škod bylo i mimo hranice podniku. Tím, že stala havárie v sobotu, počet mrtvých a zraněných byl mnohem menší, než ve všední dny (blok, ve kterém byly kanceláře, byl explozí zcela zdemolován). Požár trval 10 dní. Hlavní vzdušná exploze byla následována požární bouří. Po 20 minut požár zuřil nad plochou 180 x 250 m s plameny přes 100 m výšky.

Zařízení zahrnovalo velké kapalinné reaktory, ve kterých byl cyklohexan oxidován v přítomnosti katalyzátoru. Reakce měla nízkou konverzi, proto reaktory byly spojeny do série sestupně (kaskády) krátkým spojovacím potrubím. U reaktorů byl poměrně velký recykl. To znamená, že látka než byla zoxidována, cirkulovala vícekrát přes reaktory a množství reakčního materiálu bylo mnohem větší, než by bývalo u více efektivního reakčního systému. Každý reaktor měl zádrž 27 t a mohl se vyprázdnit během 10 minut. Celková zádrž zařízení byla 400 t cyklohexanu a cyklohexanonu. 10 minutový průtok představoval 43 t. Reakční podmínky nebyly extrémní. Normální provozní teplota byla cca 155 °C a normální provozní tlak byl 8,8 bar. Cyklohexan je hořlavina a byl přítomen jako kapalina nad svým normálním bodem varu. Za těchto okolností při úniku dochází k masivnímu mžikovému odpařování kapaliny. U reaktoru č. 5 došlo k problému (prasklina) a bylo rozhodnuto ho „přemostit“ by-passem v místě odstaveného reaktoru. By-pass, sestavený z 20-inch trubky, byl rychle postaven a instalován, a od 1. dubna používán. Ve středu 29. května byl objeven únik ve spodní izolaci ventilu na pozorovacím otvoru připojeného na reaktor. Zařízení bylo odtlakováno a ochlazené, provedena oprava a zařízení znovu najeto na provozní podmínky 8,8 bar a 155 °C, které byly dosaženy 1. června. Krátce před 17 h tohoto dne se by-pass stal nestabilní a oba vlnovce se rozpadly. Pravděpodobná porucha tohoto by-passu se stala předmětem vyšetřování. By-pass byl úspěšně provozován 2 měsíce před havárií (1.4. až 1.6.). Protože základna každého reaktoru byla ukotvena na místě, tak aby bylo vyrovnávána tepelná dilatace, byly vstupy a výstupy z reaktorů spojeny krátkou trubkou, která byla spojena před vstupem či za výstupem reaktorů vlnovci. Normální spojení bylo tak, že propojení

mezi vlnovci bylo vodorovné (umístěním vstupů a výstupů), ale by-pass měl ve střední části přípoje kus šikmého vedení. Nevybalancované horizontální síly vedly k takovému namáhání na vlnovce, na které návrh by-passu nebyl konstruován. Byly zpozorovány dva zřetelné mraky par, větší stoupající a druhý na spodku zařízení. Hlavní exploze se stala v řídicí místnosti 10 – 25 s po úniku. Když základový mrak dosáhl horkou vodíkovou jednotku, část ho byla vynesena nahoru a došlo k vznícení horními hořáky na vrcholu. Toto se přihodilo cca 20 s před explozí stoupajícího mraku. Došlo k zpětnému zášlehu po 54 s po začátku úniku.

Existovaly tři teorie, proč došlo k masivnímu úniku uhlovodíku:

První teorie předpokládá přímou závadu (prasknutí) by-passu (vlnovce). Tato teorie byla akceptována do oficiální zprávy.

Druhá teorie se soustředila na možnost malé netěsnosti a následný požár, který vedl k eventuální poruše by-passu.

Třetí teorie předpokládala, že se vrstva studené vody smíchala s horkým reaktorovým obsahem, což vedlo k náhlému zvýšení tlaku a poruše by-passu.

Poučení z havárie:

Potřeba veřejné kontroly zařízení s rizikem závažné havárie

Potřeba kontroly umístění zařízení s rizikem závažné havárie v dané lokalitě

Směrnice pro kontrolu tlakových nádob a systémů

Sytém řízení bezpečnosti v zařízeních s rizikem závažné havárie

Kontrola modifikací zařízení a procesu

Snižování zádrží nebezpečných látek

Snižování počtu ohrožených osob

Priorizace potřeb bezpečnosti a výroby

Použití a dodržení standardů a pravidel praxe

Byly publikovány tyto další údaje:

Hlavní nedostatky řízení bezpečnosti

- Organizační struktura: nedostatek technicko-inženýrských pracovníků
- Technická kontrola: nebyl vypracován žádný formalizovaný nebo schválený projekt změny
- Osobní normy: nebyla přijata zodpovědnost za bezpečnost práce
- Provoz a stavy nouze: nebyl použit žádný postup platný pro úpravy
- Školení: nebyla důkladná znalost norem pro projekci zařízení

Lidský faktor

- Omezený rozhled: pracovníci se neporadili s technikem-specialistou
- Sebeuspokojení: vyprojektovaný návrh byl realizován bez porady s jinými odborníky
- Nedbání varovných signálů: ignorování pohybů a ztráty vodíku
- Vysoká prahová úroveň do zahájení zásahu: nikdo nebyl přijat na místo inženýra závodu

Vlivy vnějších faktorů

- Komerční tlaky: výroba musela pokračovat během oprav reaktoru
- Časová omezení: u kontinuálního procesu byla odstávka nákladná
- Fyzické a místní podmínky: zařízení obsahovalo výbušné páry pod tlakem
- Společenské vlivy a vliv kultury práce: nebylo zvaženo vyhodnocení bezpečnosti práce

Piper Alpha – těžební plošina, těžební sektor Velké Británie v Severním moři	
Klasifikace havárie:	Exploze, požár, domino efekt
Datum:	1.7.1988
Výrobní proces:	Těžba ropy, produkce a separace ropy a uhlovodíků
Událost:	Exploze, požáry, fireballs
Počet mrtvých:	167
Počet zraněných:	Různé údaje: 36 (Kirchsteiger) ošetřeno přes 400 (Wells) 104 (časopis)
Škoda:	Totální destrukce a potopení plošiny, pokles produkce uhlovodíků ve Velké Británii o 11 %
Kritická událost:	Únik kapalných lehkých uhlovodíků (množství menší než 100 kg) do modulu komprese plynu

Únik uhlovodíků, exploze a následný požár v 22 h 6. 7.1988 měly za následek 167 mrtvých, totálně zničenou těžební plošinu a její potopení do hloubky 150 m.

Plošina Piper Alpha produkovala jak ropu, tak plyn. V době katastrofy byla v opravě. Bylo odsouhlaseno, aby při opravách byla zastavena provozní práce na plošině. Management však rozhodl, že přes různé opravy probíhající na plošině, bude pokračovat omezená produkce. Denní směna začínala v 6 hodin, noční v 18 hodin. Jeden výrobní proces zahrnoval odstranění kondenzátu z plynu a jeho čerpání do hlavního naftového potrubí jedním z dvojice čerpadel (A nebo B). Vzhledem k původnímu projektu byl systém přetěžován.

4. července bylo rozhodnuto provést do měsíce údržbu čerpadla A, protože pracuje velice hlučně. Zálaha přišla 5. července. V tutéž dobu se ptali dodavatelé po provedení opakované homologace pojistného ventilu čerpadla A. Čerpadlo bylo odpojeno ráno 6. července. Pojistný ventil byl odstraněn a vedení pojistného ventilu zaslepeno přírubou. Na každou práci bylo třeba povolení. Příruba měla být utažena těsně francouzským klíčem, ale byla pouze dotažena rukou. Záměrem bylo opravit pojistný ventil do 18 h. Dodavatelé si byli vědomi, že práce na čerpadle A budou trvat několik dní.

Pojistný ventil byl homologován 6. července, ale nebyl umístěn do vedení pojistného ventilu, protože nebyl dostupný jeřáb – vzhledem k zákazům přesčasů – jeřábník pracoval pouze v denní směnu. Za těchto okolností byla dodavatelem odvoláno povolení na práci na pojišťovací ventil. Avšak důkaz naznačuje, že údržbářský

personál se nebyl vědom, že pojišťovací ventil nebyl připojen a bylo nepravděpodobné, že provozní personál označil konec zvláštního povolení na práci, jak bylo požadováno.

Po nějaké práci bylo čerpadlo zkompletováno a vedoucí údržby rozhodl, že se nebude nepokračovat v plánované údržbě, ale ještě neinformoval personál. Operační personál měl za to, že čerpadlo je funkční.

Na předávce v 18 h bylo noční směně řečeno, že čerpadlo je funkční. Avšak nebyli informováni o práci, která byla prováděna na pojistném ventilu. Údržbářská denní směna předpokládala, že práce na pojišťovacím ventilu byly kompletní, ačkoliv nebyla provedena inspekce na místě, jak požadovaly standardní postupy.

V 21.40 h se čerpadlo B vypnulo a pokusilo se nastartovat chybějící čerpadlo.

Operátoři se rozhodli vrátit čerpadlo A do hlavního provozu. Oddělení čerpadla A bylo odstraněno a čerpadlo bylo připojeno do provozu. Sací ventily na čerpadle byly otevřeny.

Stupeň alarmu nízkého průtoku plynu byl zaznamenán v 21.56 hodin, a toto bylo následováno alarmem vysokého průtoku v 22 hodin. Následovala exploze ekvivalentní 50 kg kondenzátu. Tato exploze zabila určitý počet lidí (méně než 10) zničila protipožární systém. Byla vyslán signál nouze, ale rychle vznikající oheň pohltit řídicí místnost a těžce poškodil komunikační a řídicí systémy.

Přilehlé vrtné soupravy přes hodinu pokračovaly v dodávce plynu a ropy do plošiny.

Nouzové oddělovací ventily na plošině se nedařilo uzavřít a požár se změnil na mohutný tryskový plamen. Vliv ohně, pokračujícím následkem toku plynu do Piper Alpha z jiných vrtacích souprav, způsobil havárii dalších plynových potrubí. Toto vedlo k sérii mohutných explozí, které zahalily plošinu do kouře a plamenů, a způsobily poškození konstrukce plošiny. Chyběly také nouzové zdroje energie.

Možnost opustit plošinu evakuací vrtulníky (podle havarijního plánu - po předchozím shromáždění v jídelně) nebylo možné kvůli explozím. Někteří pracovníci unikli z plošiny skokem do moře z výšky 50 m. Většina úmrtí byl způsobena inhalací kouře v lodní kuchyni nebo v ubytovacích prostorách.

Body pro hlavní nehodový scénář:

Chybějící zmírňující opatření:

- Žádná naděje na kontrolu požáru, dlouhá doba nutná k odtlakování plynových potrubí
- Opominutí úniku po moři
- Nedostatek pasivní protipožární ochrany
- Protipožární systém nebyl zcela funkční
- Nedostatek havarijního řízení pro únik s překážkami
- Plošina zaplavená dýmem a plameny, nedostatečná přístupnost přistání záchranných vrtulníků

Eskalace havárie:

- Požár zapříčiněný přívodními plynovými potrubími ze dvou sousedních plošin
- Významné poškození konstrukce plošiny

Chybějící protiopatření:

- Počáteční exploze vážně poškodila protipožární, komunikační a elektrické systémy
- Dálkové ovládání uzavíracích ventilů

Chyba k zvládnutí situace:

- Nedostatečný čas pro opětovné najetí

Nebezpečná porucha

- Hořlavé uhlovodíky pronikly potrubím pojistného ventilu čerpadla A

Selhání řízení situace (v nouzi)

- Havarijní systém nebyl konstruován na tento únik

Nebezpečná odchylka

- Po zastavení čerpadla B bylo připojeno čerpadlo A a otevřeny sací ventily

Selhání v řízení situace:

- Špatná předávka mezi směnami
- Noční směna nebyla informována o skutečném stavu čerpadla A
- Zaslepující příruba u pojistného ventilu pro čerpadlo A byla dotažena pouze rukou
- Selhání kontroly údržbářské práce před odvoláním povolení k práci

Odchylka procesu

- Údržbářská práce nebyla kompletní a byla porušena integrita systému

Neodpovídající pravidelná kontrola

- Neodpovídající oddělení systému po dobu údržbářských prací na čerpadle A

Bezprostřední příčina havárie

- Únik zapříčiněný postupem noční směny – uvedením do provozu čerpadla A, které bylo vyřazeno pro údržbu

Hlavní příčiny havárie

subsystém	existující primární podmínky pro poruchu
Externí systémy	Účinek externích inspektorů
	Nedostatečná havarijní koordinace s přílehlými plošinami
Klima v systému	Slabé vynucování dodržování předpisů
	Společnost podřízená výrobním tlakům
	Rizika z jiných plošin nebyla zohledněna
Organizace a řízení	Nedostatečné metody pro stanovení pracovních priorit
	Nedostatek závazku k bezpečnému pracovnímu prostředí
	Nedostatečný systém povolení k práci a požární bezpečnosti
	Slabá organizace mezi výrobou a údržbou

	Nedostatečné postupy při změně výroby
	Chybějící inspektorská a auditorská identifikace nebezpečí
	Nedostatečné vyměření času pro kompletní práci
Místní a výrobní zařízení	Překračování projektových kapacit pro odstraňování kondenzátu
	Nedostatečné oddělení od plynových potrubí jiných plošin
	Velké objemové množství plynu ve stoupačkách
Technická integrita	Bylo známo, že Piper Alpha by nemohla odolat déletrvajcímu požáru
Kontrola řízení	Nedostatečná provozní opatření
	Selhání řízení změny - těžařské procesy byly rozšířeny
	Nedostatečná koordinace a určení odpovědností
	Nejasné stanovení bezpečnostní odpovědnosti
	Nedostatečné havarijní plánování: žádné evakuační plány po moři nebo pro ztrátu funkcí
Komunikace a informovanost	Nedostatečná komunikace nahoru a dolů
	Nedostatečné provedení a přístup k informacím
	Nedostatečné havarijní kontrolní centrum
	Nedostatečný havarijní plán
Postupy a praxe	Nedostatečná organizace práce
	Nedostatečná příprava práce
	Tlak na údržbu za jakoukoliv cenu
Výkon operátorů	Dodavatelé neměli s tímto druhem práce (na plošině) zkušenosti
	Nedostatečný výcvik pro zajištění efektivní práce v systému povolování prací

Byly publikovány tyto další údaje:

Hlavní nedostatky řízení bezpečnosti

- Postupy povolování provádění prací byly špatně definovány
- Předák smluvního dodavatele pracoval bez dohledu
- Dovolili degeneraci systému povolování provádění prací
- Vedení v činnosti nebylo vyškolené
- Byly neúčinné povinnosti při sledování

Lidský faktor

- Ignorovali otázky auditora ohledně požárních čerpadel
- Dovolili znehodnotit bezpečnost práce
- Analýza rizika se prováděla povrchně
- Nebyla napravena předchozí selhání systému povolování provádění prací

Vlivy vnějších faktorů

- Komerční tlaky: výroba musela pokračovat během oprav
- Lidé pracující odděleně/oddělené cíle
- Práce prováděná přesčas/nedostatečné předání
- Práce na směny v kombinaci s odlehlou polohou

Havárie s toxickým rozptylem

Seveso, severní Itálie	
Klasifikace havárie:	Toxický únik
Datum:	9.7.1976
Výrobní proces:	Vsázkový (šaržovitý) proces v reaktoru
Událost:	Exotermický rozklad
Počet mrtvých:	Žádná přímá úmrtí lidí, řada potratů, následně 3000 mrtvých zvířat
Počet zraněných:	250 poškození kůže
Škoda:	
Kritická událost:	Loss of containment - Únik reakční směsi obsahující mj. cca 2 kg TCDD

Poblíž Sevesa v Itálii vedla nezvládnutelná chemická reakce (runaway) v malém farmaceutickém závodě k exotermickému rozkladu a úniku reakční směsi, obsahující dioxin, do okolní atmosféry následkem ruptury disku (lamely).

Při procesu se během reakce uvolňovalo teplo, které podporovalo reakci a vedlo ke zvýšení tlaku v reaktoru. Pojistné tlakové zařízení zareagovalo a obsah reaktoru odtlakovalo do atmosféry.

Před tímto dnem provozovaný proces v zařízení byl přerušen na konci pracovního týdne. U vsázky materiálu, tímto způsoben ošetřené, se mělo za to, že je stabilní, a byla ponechána uvnitř reaktoru se záměrem dokončit operaci později. Reaktor uvolnil svůj obsah několik hodin po tom, co zamýšlené operace v zařízení byly zastaveny, teoreticky následkem ujetí reakce iniciované ohřívání reaktoru párou (ohřívací a chladicí prsteneček kolem reaktoru).

Předpokládá se, že v době úniku z reaktoru bylo v několika tunách reakční směsi cca 2 kg přeměněno na TCDD (2,3,7,8-tetrachloro-dibenzo-para-dioxin), který se po úniku v pevné formě (při okolních podmínkách) rozprostřel na širokém území. Zvířata začala umírat a lidé pociťovali různé symptomy otravy, způsobené TCDD a jinými složkami reakční směsi. Havarijní odezva kompetentních orgánů (vedení společnosti, místní úřady, vládní úřady) a místního obyvatelstva byla chaotická. Toto však není překvapující vzhledem k nedostatkům ve znalostech o povaze nebezpečí a potenciálu pro havárii na místě. Po havárii bylo jasné, že potenciálně ohromné nebezpečí bylo oceněno zcela neuspokojivě.

Pojistný tlakový ventil, chránící reaktor, měl efekt zpožděného úniku, což vedlo ke zvýšení teploty, která byla dosažena před otevřením, a tato mohla následně podporovat tvorbu TCDD, a tím zvýšit energii, kterou bylo provedeno odtlakování, čímž se následně mohla zvýšit plocha zasažení TCDD. Plocha asi 2 čtverečních mil byla prohlášena za kontaminovanou, což bylo později zvýšeno 5 x. Bylo evakuováno asi 500 lidí na dobu přesahující 6 měsíců, a půda byla později dekontaminována.

Dlouhodobé účinky dioxinu, způsobující smrt, jsou dlouhodobě diskutovány. Zařízení zpracovávající toxické látky by nemělo nikdy odtlakovat přímo do atmosféry.

Z havárie plynou některá poučení:

- Veřejná kontrola zařízení s možností vzniku závažné havárie
- Umístění zařízení s možností vzniku závažné havárie
- Uvážení přínosu (zisku) společností provozující rizikové procesy
- Nebezpečí vysoce toxických látek
- Nebezpečí neznámých (nezjištěných) exotermních reakcí
- Nebezpečí prodloužené doby skladování („držení“) reakční směsi
- Kontrola a ochrana chemických reaktorů
- Vlastní bezpečný projekt chemických procesů
- Havarijní plánování
- Nebezpečí z látek, které se mohou vyrábět malotonážním způsobem

Zvláštním rysem této havárie je to, že látka nejvyšší závažnosti je normálně v zařízení přítomna pouze ve stopových množstvích. Je třeba uvažovat nebezpečí z látek, které mohou být procesem produkovány v předvídatelných operacích (i při skladování nebo zpracovávání).

Tato havárie měla velký vliv na EU tak, jako měla vliv havárie ve Flixborough na Velkou Británii.

Bhopal, Indie	
Klasifikace havárie:	Toxický únik
Datum:	3.12.1984
Výrobní proces:	Výroba pesticidů, fa Union Carbide India Ltd.
Počet mrtvých:	Bezprostředně 1754, následně 2000
Počet zraněných:	20 000 hospitalizovaných, 50 000 lehká zranění jiný údaj: přes 2000 mrtvých a 200 000 zraněných
Škoda:	Zastavená výroba, kompenzační nároky miliony dolarů, finanční krize, Union Carbide klesla z pozice 34 největší společnosti ve světě pod pořadí 200
Kritická událost:	Loss of containment - Únik reakční směsi obsahující mj. cca 2 kg TCDD

Při havárii se uvolnilo velké množství toxického plynu ze zařízení na výrobu pesticidů ze skladovacího zásobníku během noci 3. 12. 1984. Toxický mrak přešel přes vysoce obydlenou oblast v blízkosti závodu. Přímé následky na lidi byly bezprecedentní v historii chemickém průmyslu.

Průnik vody do zařízení inicioval „ujetí“ reakce (runaway reaction), která zapříčinila únik asi 36 t methylisokyanátu (MIC) (údaje z literatury se rozcházejí od 25 do množství úniku 40 t MIC) a pravděpodobně kyanovodíku. Příčinou mohla být sabotáž. Havárie dosáhla těchto rozměrů, protože výrobní instrumentace,

bezpečnostní blokovací systémy a zmírňující systémy byly nepřesné, nefunkční nebo podceněné. Standard údržby byl děsivý a závod za těchto podmínek neměl být provozován. Havarijní plán byl extrémně špatný se zanedbatelnou komunikací k veřejnosti. Měly být přijaty jiné postupy. Následkem této havárie vlastníků zařízení, Union Carbide, pocítil důsledky této havárie i na trhu v USA.

Materiál, který unikl, byl meziprodukt, který nesměl být v takových množstvích skladován. Tento meziprodukt vzniká při výrobě látky „Carbaryl“, aktivního činidla v pesticidu „Sevin“.

Protože MIC je vysoce nestabilní, je třeba ho uchovávat při nízké teplotě. V Bhopálu byl MIC skladován ve dvou chlazených podzemních zásobnících. Třetí zásobník byl v místě nevyhovujícím specifikaci MIC. Závod byl postaven v době rychlé expanze města do svého okolí. Originální zařízení bylo konstruováno k získání Carbarylu a zpracování na Sevin a výroba byla zahájena v sedmdesátých letech 20. století. V osmdesátých letech, kdy se poptávka po pesticidech rapidně snížila, zařízení bylo odstaveno a počet personálu se stal přebytečným.

Tři MIC zásobníky byly plněny z rafinační destilace společným ocelovým potrubím pod dusíkem. Existovalo společné vedení do Carbaryl-reaktoru, na kterém byla umístěna odvzdušňovací trubka. Odpadní MIC byl recyklován do zásobníků a kontaminovaný MIC se vedl do pračky odfukového (odvzdušňovacího) plynu (VGS) na neutralizaci. Každý MIC zásobník měl místní a kontrolní instrumentaci pro kontrolu teploty a tlaku, místní hlásič úrovně hladiny a alarm. Ostatní bezpečnostní položky zahrnovaly omezenou kapacitu fléry, stabilní vodní monitory a ochlazovací jednotky u MIC zásobníků. Fléra byla použita v kombinaci s VGS pro větší úniky. VGS a fléra systémy odpouštěly plyn do atmosféry ve výšce 15 – 20 m. Ochlazovací systém, který chladil MIC v ochlazovaných zásobnících, byl vyjmut ze služby v červnu 1984 a jeho chladivo odstraněno. MIC produkce byla zastavena v říjnu 1984. 2. 12. 1984 byl požádán inspektor MIC zařízení, aby vypláchl potrubí vodou. Oddělování, které mělo předcházet operaci, bylo zanedbáno, údajně kvůli nadbytečnosti v údržbářském oddělení před několika dny. Mezi jinými možnostmi vody použité pro promývání mohla být nalezena cesta do jednoho zásobníku.

V 23 h tlak v zásobníku byl v normálních mezích. V 23.30 h špinavá voda začala vytékat ze strany po proudu z MIC zásobníků. V 0.15 h tlak v zásobníku stoupl na 30 psi, o minutu později na 55 psi (horní konec kalibrované stupnice). Když operátor přišel k zásobníku, slyšel dunění a cítil sálání tepla ze zásobníku. V řídicí místnosti byl učiněn pokus nastartovat VGS a obsluha telefonovala vrchnímu inspektorovi, který po svém příchodu požadoval odstavení zařízení. Byl spuštěn vodní postřik, ale dosahoval pouze do výšky 15 m. MIC unikal ve výšce 33 m. Byl učiněn pokus chladicí systém, který však selhal díky nedostatku chladiva. Alarm toxického úniku plynu, který houkal, aby varoval místní komunitu, byl o několik minut později přerušen, zůstala v chodu pouze tovární siréna pro výstrahu pracovníků továrny. Bylo zaznamenáno, že první houkání způsobilo zmatek mezi lidmi, protože ti, kteří žili v sousedství, vyrazili do ulic v domněnání, že v továrně nastal požár. Zaměstnanci továrny prchali opačným směrem od toxického mraku.

Pojistný ventil zůstal otevřený dvě hodiny. Trojfázová směs plynu, naložené kapaliny a pevné látky unikala při teplotě přes 200 °C a tlaku přes 12 bar. Rychlá expanze města předstihla domy a obecní byty. Slumy dosahovaly k hranicím továrny. Obydlí z chatrčí poskytovaly malou ochranu před plynovým mrakem. Infrastruktura města byla beznadějně postihnuta rozsahem závažné havárie, v tomto případě katastrofy. Dvě nemocnice, se zařízením na několik tisíc pacientů, byly přeplněny desítkami tisíc postižených, kteří do nich proudili.

Body pro hlavní nehodový scénář:

Nedostatky vnějších zmírňujících opatření

- Žádný havarijní plán
- Venkovní alarm byl vypnut
- Místní domovy poskytly malou ochranu
- Omezená lékařská zařízení a léčení

Eskalace úniku

- Oblak MIC byl nesen mimo závod

Nedostatky vnitřních zmírňujících opatření

- Vodní clona dosahovala pouze 15 m nad terén
- Selhalo nastartování chladicí jednotky, protože bylo odstraněno chladicí médium
- Polní hořák nebyl kvůli opravě funkční
- Problém nebyl identifikován téměř po dobu 2 hodin

Významný únik materiálu

- 36 t nečistého MIC bylo uvolněno ve formě par a strhávalo pevné a kapalné látky

Zanedbání ke zvládnutí situace

- Pračka odplynů neměla odpovídající kapacity

Nebezpečná porucha v zařízení

- Překročení teploty a tlaku v zásobnících

Selhání řízení situace (v havarijní odezvě)

- Pojistný ventil otevřel ve výšce 33 m
- Žádné on-line monitorování MIC zásobníků nebo alarmu vysoké teploty

Nebezpečná procesní odchylka

- Zvýšení teploty a tlaku následkem katalytické polymerace MIC

Selhání řízení situace (podle alarmu)

- Žádný alarm

Neuspokojivé standardní řízení

- Žádná kontrola pro možnost havárie
- Indikátory tlaku a teploty byly vadné

Bezprostřední příčiny havárie

- Promývání potrubí kolem skladovacích zásobníků bez řádného oddělení
- Možný vstup vody z čistícího procesu nebo jiného zdroje do zásobníku E610 s MIC

Hlavní příčiny havárie

subsystém	existující primární podmínky pro poruchu
Externí systémy	Rychlý růst populace vedle závodu s malým rozvojem infrastruktury
	Nedostatečné vztahy mezi havarijní odezvou s externími orgány
	Možná sabotáž
Klima v systému	Výsledky předchozích auditů nebyly akceptovány
	Bezpečnější výrobní cesty byly dostupné
	Rozhodnutí udělaná městskými úřady byla zamítnuta regionální vládou
	Zaměstnání nebylo vykonáváno řádně díky nedostatku nároků
	Expanze procesu do méně bezpečných oblastí
	Sebeuspokojení, spoléhalo se na ústní nebo písemná hlášení
Organizace a řízení	Nedostatek závazku k bezpečnému pracovnímu prostředí a vykování práce
	Nedostatečná zdrojová opatření pro stav nouze
	Nedostatečná bezpečnostní inspekce indických úřadů
	Selhání oznámení rizika veřejnosti
	Omezený kontakt s mateřskou společností v USA
	Nedostatečná úroveň obsluhy
	Špatná komunikace ve vedení závodu
	Neznalost skutečného stavu v řízení bezpečnosti
Místní a výrobní zařízení	Chabé územní plánování
	Nedostatečné předběžné řešení procesu
	Dlouhodobé skladování nadlimitního množství meziprojektu za nevhodných podmínek
	Nedostatečné oddělení skladovacích zásobníků a žádná indikace nastavení ventilů
	Nadměrná trasa pro vedení vody do vstupu MIC skladovacích zásobníků
Technická integrita	Bezpečnostní systémy byly neadekvátní a nefunkční
	Nepřiměřená (nedostatečná) modifikace a řešení změn
	Nedostatečná údržba potrubí, ventilů a instrumentace
Kontrola řízení	Nedostatečná provozní opatření, cíle, odpovědnosti a úkoly nebyly jasně definovány
	Selhání řízení změny a výběru bezpečnějších výrobních postupů, dovolil se rozvoj užívání nebezpečných postupů
	Nejasné stanovení bezpečnostní odpovědnosti
	Nedostatek bezpečnostního výcviku a technických zkušeností
	Neexistence havarijního plánu
Komunikace a informovanost	Nebyla stanovena toxicita MIC
	Nedodržení bezpečnostních informací od mateřské společnosti
Postupy a praxe	Nedostatečný odhad postupu

	Nesprávný postup čištění potrubí vyžadující metody ad hoc
	Absence bezpečnostních postupů
Pracovní prostředí	Operační personál byl zredukován o 50 %
	Absence zkušeného personálu
Výkon operátorů	Operátoři měli nedostatečné technické znalosti
	Personál byl pod psychickým tlakem kvůli nejisté podnikové budoucnosti (kalkulace s odprodejem)

Další havárie, na jejímž začátku byla chyba lidského činitele:

Enschede, Holandsko	
Klasifikace havárie:	malý požár a následné exploze cca 100 t pyrotechnických výrobků
Datum:	13.5.2000
Výrobní proces:	skladování
Počet mrtvých:	22
Počet zraněných:	947
Škoda:	tlaková vlna do 30 km; postižená oblast 40 ha; 293 zničených domů; cca 50 zničených obchodních a průmyslových budov; cca 15 000 poškozených domů celkové materiálové škody 1 bilión guldenů; evakuováno cca 10 000 lidí
Kritická událost:	přítomno větší množství pyrotechnických výrobků než bylo povoleno včetně vyšší třídy nebezpečnosti; požár (příčina?) začal v místě, kde v době mimo provoz neměly být žádné nebezpečné látky; činnost mimo omezené povolení

Jedna z posledních havárií má možná také na začátku lidského činitele ...

Toulouse, Francie	
Klasifikace havárie:	exploze 200 až 300 t dusičnanu amonného
Datum:	21.9.2001
Výrobní proces:	výroba umělých hnojiv
Počet mrtvých:	29
Počet zraněných:	2 442

Škoda:	ekvivalent zemětřesení síly 3,4; kráter hloubka 10 m, šířka 50 m, destrukce 500 domů, očekávané škody miliardy franků
Kritická událost:	zatím neznámá (sabotáž ?)

Při pozorném čtení předchozího textu nacházíme nezvládnutou činnost člověka v různých úrovních řízení technologického procesu, včetně odezvy na vzniklou situaci. S tím souvisí i následné havarijní plánování a připravenost okolí zvládnout tyto situace. Přes masivní kampaně o bezpečnosti a pro bezpečnost tyto situace se opakují v různých obměnách a v různém dopadu, neboť v jakékoliv činnosti neexistuje nulové riziko, a nutno bohužel konstatovat, že přes veškeré úsilí podchytit všechny možné scénáře, se vyskytnou situace, ke kterým dojde neočekávanou souhrou náhod. Z tohoto důvodu je zřejmé, že úloze a spolehlivosti lidského činitele je třeba věnovat náležitou pozornost.

2. Lidský činitel v návrhu a řízení procesu

Historie technického rozvoje lidské společnosti a následně působení člověka na okolí mění postupně charakteristiku vztahu mezi člověkem, technickým prostředkem a pracovním prostředím od jednoduchého ke složitějšímu: nejprve to byl systém člověk – nástroj, který se změnil na systém člověk – stroj a v dnešní době se pohybuje v oblasti sestavy strojů a technologií, navíc řízené počítači. S tím se vyvíjely i požadavky na úroveň kontroly a řízení člověkem těchto systémů, a samozřejmě spolu s tím se zvedly i nároky na znalosti a schopnosti člověka, který stojí na různých úrovních daného systému. Podle historické etapy byly různé požadavky na výkon pracovní činnosti odvislé od náročnosti daného systému na ovládání a stavu techniky, a tomu byla poplatná i kritéria pro vytvoření optimálních pracovních podmínek pro úspěšné zvládnutí celého procesu. Pro nalezení správných řešení složitých vztahů v systému člověk – stroj – pracovní prostředí se spojila řada vědeckých disciplín, aby v různých oblastech výroby stanovila optimální podmínky celého procesu a příslušného zařízení. To zahrnuje etapu od projekce a konstrukce, kdy projektanti a konstruktéři by měli patřičně vyhodnotit úlohu lidského činitele, etapu vlastního provozu zařízení, kdy úloha řídicího managementu, operátorů, obsluh a pracovníků údržby přímo ovlivňuje bezpečnost provozu a následně jeho okolí, tak i možnosti řízení tzv. nestandardních stavů, které mají příčiny jak vnitřní, tak vnější.

V návrhu procesu a zařízení se uplatňuje lidský činitel ve všech etapách návrhu:

- Specifikace systému (cíle, alternativy)
- Specifikace funkcí podsystemů
- Rozvržení (rozdělení) funkcí strojů (specifikace strojů – hardware, software, návrh strojů, výroba prototypu)
- Rozvržení (rozdělení) funkcí člověka (syntéza a analýza úkolů, specifikace práce, výběr a výcvik, pomoc)
- Realizace systému
- Ocenění systému s event. zpětnou vazbou na předchozí kroky

Mezi jednotlivými stadii návrhu je vzájemné působení, integrace a korekce. Na tomto postupu se musí podílet nejen inženýři, kteří mnohdy úlohu lidského činitele nedoceňují, ale také ergonomové a psychologové, kteří se problematikou lidského činitele plně zabývají. Jako příklad lze uvést dlouholetou práci českých ergonomů, jmenovitě např. PhDr. Oldřicha Matouška, CSc., který se zabývá mimo jiné problematikou operátorských profesí a ergonomickými požadavky na řídicí centra v průmyslu. Jak PhDr. Matoušek ve svých pracích dokládá, na operátory a další pracovní funkce jsou kladeny vysoké požadavky a jejich plnění je odvislé na poznání příslušného systému člověk – stroj – pracovní prostředí. Zde se pak prolíná problematika psychologická (schopnosti, dovednosti, osobní rysy, motivace), antropologická (tělesné rozměry, pohybové oblasti), fyziologická (fyziologická výkonová kapacita včetně odolnosti proti hygienicky závadným složkám vnějších faktorů prostředí) atd., a tyto oblasti mají kromě biologických aspektů také aspekty technické a ekonomické. Za předpokladu správného plnění povinností všech pracovníků, a dobrého vybavení příslušných pracovišť nejen z technického hlediska, ale i z hlediska ergonomického, je předpoklad, že v případě odchylek daného systému od provozních parametrů budou všichni konat správným směrem k potlačení dopadu odchylky, pokud systém nebude sám nastaven tak, aby případnou odchylku automaticky vyrovnával. Z tohoto pohledu se jeví jako velmi důležitá činnost operátorů, kteří při kontrole a řízení určitého technického systému musí zajistit produktivnost, spolehlivost, ekonomičnost a hlavně bezpečnost systému. Operátor musí mít znalosti všech žádoucích parametrů a vlastností funkcí a výstupů systémů, musí umět identifikovat odchylky systému od žádoucích parametrů, musí umět zjistit příčiny odchylek, a stanovit a realizovat nejvhodnější postup (z hlediska ekonomiky a bezpečnosti) k likvidaci odchylky. Pokud na toto má v moderním systému počítačové řízení v celém rozsahu, stejně v určitých fázích poruch je jeho úloha nezastupitelná, i když některé dnešní systémy jsou mnohdy schopny se „uřídít“ samy bez zásahu člověka. Mohou ale nastat situace, jak se v některých zemích připouští „vyšší mocí“, nebo úmyslným lidským konáním směřujícím k destrukci systému nebo jeho některých funkcí. Z tohoto pohledu nebude nikdy 100 % záruka, že riziko jakékoliv činnosti bude tak nepatrné, že nebude třeba o něm vůbec mluvit. Z těchto důvodů je třeba věnovat patřičnou péči studiu lidského činitele v řízení procesu. Jako příklad některých témat z této oblasti může být např. tato různorodá směs: *příjem informací ze sdělovačů, vyškolení, zkušenosti, stres, únava, přijímání rozhodnutí, diagnostické úkoly, motivace, hodnocení výkonu, analýza úkolů, systémy ručního ovládání, sledování, spolehlivost ručního ovládání, lidská chyba, stavy nouze, systémy řízené počítačem, displeje, pozornost, detekce signálu, inspekce, řídicí panely, velíny, výběr pracovníků, školení, organizační otázky, finanční motivace, rutinní práce, nuda, pracovní přestávky, přesčasy, směnnost, komunikativnost, pracovní klima na pracovišti, atd.*

Jak bylo již uvedeno dříve, zanedbání aspektů lidského činitele v prevenci ztrát v procesním průmyslu, dříve či později povede ke skoronehodám, což podle některých zkušeností je posledním varováním před havárií, které při určitém souběhu zásahů člověka mohou být velmi závažné, jak ukázala havárie např. v Černobyli. Podle odborníků v oblasti průmyslové bezpečnosti jsou obzvláště důležité tři aspekty lidského činitele:

- Nedostatečné informace
- Nedostatečný projekt / nedostatečná konstrukce či provedení
- Minimalizace následků lidské chyby

Opatření pro prevenci lidské chyby a celková strategie pro jejich realizaci by měly vycházet z analýzy spolehlivosti lidského činitele.

3. Analýza spolehlivosti lidského činitele

Lidský činitel se týká interakce okolních, organizačních a pracovních podmínek a člověka, a individuálních charakteristik, které mají vliv na způsob provedení práce a bezpečnost. **Lidská spolehlivost** se obvykle definuje jako pravděpodobnost, že člověk bude správně provádět systémem požadované aktivity během určitého časového okamžiku, resp. časové periody (pokud čas je limitující faktor) bez provedení jakékoliv nežádoucí aktivity, která může degradovat systém. **Analýza spolehlivosti lidského činitele** je obecně analýza spolehlivosti člověka provést splnění určitých úkolů. Analýza systematicky hodnotí faktory, které ovlivňují výkonnost operátorů, údržbářů, techniků a ostatního personálu podniku a dalších zainteresovaných subjektů. Analýza lidské spolehlivosti popisuje fyzikální charakteristiky a charakteristiky prostředí společně s dovednostmi, znalostmi a schopnostmi vyžadovanými od těch, kdo provádějí zkoumané úkony, identifikuje situace náchylné k chybám nebo omylům, které mohou vést k nehodám. Analýza lidské spolehlivosti může být také použita ke stopování příčin lidských chyb. Analýza lidské spolehlivosti se obvykle provádí ve spojení s jinými technikami hodnocení zdrojů rizika, a může být kvalitativní nebo kvantitativní. Kvalitativní analýza popisuje spolehlivost lidského činitele pouze slovně, kvantitativní analýza oceňuje pravděpodobnost výskytu lidské chyby při plnění zadaného úkolu.

Pravděpodobnost lidské chyby závisí na těchto klíčových faktorech:

- Pracovní prostředí (okolí, vybavení, řízení, kontrolní panely atd.)
- Dokumentace (psané pracovní postupy, označení, značky atd.)
- Kompetence daného pracovníka (znalosti, zkušenosti, úroveň výcviku, atd.)

Analýza spolehlivosti lidského činitele sbírá informace o těchto faktorech a logicky je zkoumá za účelem zjištění potřebného rozsahu jejich řízení a kontroly. Pokud bude úroveň řízení zlepšena, bude splněn i účel analýzy.

Obecný postup analýzy spolehlivosti lidského činitele lze rozdělit do těchto kroků:

1. **Definice problému, popis systému a stanovení kritických míst:** Chyby v plnění činnosti se dějí každý den, a většina z nich se obejde bez dalšího nepříznivého vývoje. Vznikají jak při plnění provozních činností, tak při údržbě nebo při plnění úkolů vyplývajících pro funkci havarijní odezvy při stavech nouze. „Kritické“ chyby lze identifikovat různým způsobem: Lze použít např. metodu *HAZOP*, ve které se „lidská chyba“ bere jako zdroj rizika. Při *pravděpodobnostním hodnocení bezpečnosti* (probabilistic safety assessment – PSA) se identifikují určité chyby, které je potřeba dále hodnotit. Zkoumáním *historických dat* ze skoronehod a havárií lze pomocí otázek typu „stalo se to takto v minulosti – je to nyní pod kontrolou?“ zjistit slabá místa v systému i z hlediska spolehlivosti lidského činitele. Dalším způsobem mohou být *pracovní schůzky* příslušných expertů (konstruktéři, technologové, operátoři, údržbáři, management, aj.), kdy při rozboru situace pomocí techniky

„brainstorming“ se zjišťují jaké chyby by mohly být příčinou nežádoucích událostí. Další možností je *rozběr záznamu pozorování chování člověka* při plnění úkolu s ohledem na bezpečnost. Využití výše uvedených postupů poskytne seznam, který je třeba dále vyhodnotit, aby byly vybrány takové úkoly, které je třeba zkoumat detailněji. Je ale třeba mít na paměti, aby byly uvažovány všechny typy pracovních úkolů, které se vyskytují ve zkoumaném systému.

2. **Provedení rozboru daného pracovního postupu pro splnění zadaného úkolu ve sledovaných kritických místech:** Cílem je popsat daný postup složený z dílčích kroků pro další analýzu. Může být proveden písemně v bodech nebo graficky ve tvaru „stromu“.
3. **Identifikace chyb/selhání lidského činitele, jejich příčin, následků:** Ve stanovených kritických místech systému se určí možné chyby/selhání člověka při plnění zadaného úkolu a příčiny, které k tomuto selhání vedou. Dále se určí následky, které z tohoto selhání mohou nastat, a zde je možné zároveň i zkoumat, jaká opatření jsou potřeba k zabránění selhání, popř. k jeho zmírnění. Zde se dá použít technika klíčových slov pro vyhledání způsobu chování (metoda HRA, THERP, HAZOP) nebo příčin chyb (metoda THEA), popř. generických scénářů.
4. **Odhad pravděpodobnosti lidské chyby:** Metody pro odhad pravděpodobnosti lidské chyby mohou být založeny buď na úsudku expertů nebo na číselném podkladě. Pro oba typy platí, že pro jednotlivé dílčí kroky, podle postupu v 2. bodě, se stanoví dílčí pravděpodobnosti možné chyby při jejich plnění, které pak ve výsledné vrcholové činnosti daného rozdělení poskytují odhad pravděpodobnosti chyby při provedení daného úkolu. Zde nutno upozornit na potřebu značné zkušenosti analytika provádějící tento odhad pravděpodobnosti, protože žádná metoda nemůže poskytnout zcela přesné závěry, a mnohé číselné údaje o pravděpodobnosti mohou být velmi zavádějící. Používají se odhady pravděpodobností pro všeobecné nebo univerzální charakteristiky lidské činnosti, které je potřeba zohlednit na aktuální situaci.
5. **Vyhodnocení provedené analýzy a doporučení opatření pro zabránění či omezení výskytu lidských chyb:** Provedená analýza ukáže, zda stávající činnost a opatření proti vzniku lidských chyb jsou dostatečná. V opačném případě je třeba navrhnout a realizovat opatření ke zlepšení bezpečnosti a výkonu činnosti člověka v daném systému v těch oblastech, které z analýzy vyšly málo uspokojivé.

V analýze spolehlivosti lidského činitele se používá mnoho metod, často v kombinaci těchto metod. Obvykle se soubor těchto metod označuje jako HRA (Human Reliability Analysis). Z velkého množství kvalitativních i kvantitativních metod jsou citovány pouze některé. Použití těchto metod vesměs vyžaduje odborné předpoklady a dlouhodobou zkušenost. Bližší informace o těchto metodách lze nalézt na Internetu za použití příslušného vyhledavače, např. Google:

- THERP (Technique for Human Error Rate Prediction)
- HAZOP (Hazard and Operability Analysis/Study)

- HAZID techniky (Hazard Identification Process Study)
- SHERPA (Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach)
- THEA (Technique for Human Error Assessment)
- TOR (Technic of Operations Review)
- HTA (Hierarchical Task Analysis)
- Timelines analysis
- Link analysis
- HEART (Human Error Assessment and Reduction Technique)
- Root Cause Analysis
- PHEA (Predictive Human Error Analysis)
- MORT (Management Oversight Risk Tree)
- SLIM (Success Likelihood Index Method)
- PFMEA (Process Failure Modes and Effects Analysis)
- APJ (Absolute Probability Judgement)
- GEMS (Generic Error Modelling System)
- HEPs (Human Error Potentials)
- JSA (Job Safety Analysis)
- JHEDI (Justification of Human Error Data Information)

V praxi existuje celá řada různých dělení a seskupování chyb a selhání lidského činitele a příčin tohoto chybování. Pro účel tohoto krátkého seznamovacího textu lze uvést typické příklady z těchto oblastí:

Možné chyby a selhání lidského činitele

- Chyby ve stanovení cílů a organizaci podniku (neslučitelné cíle, nepřiměřené struktury)
- Chyby v projekci a konstrukci (projekce, zábrany, materiály)
- Chyby v řízení (nedostatky v komunikaci, plánování, kontrole a sledování)
- Chyby v provozu (postupy, práce obsluhy – např. záměny ovladačů, chybná manipulace s ventily, odpojení bezpečnostních systémů, nevhodné smísení chemických látek, aj.)
- Chyby v servisu a údržbě (rozvrh, postupy)

Příčiny (podmínky) chybování

- Špatná reflexe rizik, podcenění rizika
- Neseznámení se s úkolem, nedostatek času
- Neporozumění mezi konstruktérem a uživatelem
- Zahlcení informacemi
- Nedostatečná kvalifikace, trénovanost, osobnostní a zdravotní předpoklady personálu
- Nedostatečné instrukce pro výkon pracovní činnosti
- Špatné systémy a výkon kontroly a řízení personálu
- Nevhodné pracovní podmínky a pracovní prostředí
- Nedostatečné technologické, bezpečnostní a havarijní postupy

Příčiny (podmínky), které působí porušení předpisů a pravidel

- Nedostatek kultury bezpečnosti v organizaci
- Rozpory mezi řídícími pracovníky a zaměstnanci
- Špatná morálka
- Špatný dohled a kontrola, nedostatek péče a zájmu vedoucích pracovníků
- Malá hrdost na vlastní práci, nízká sebeúcta
- „Machrovský“ přístup k práci
- Víra, že se nic špatného nemůže stát
- Poznaná bezmocnost
- Nesmyslná pravidla
- Věk a pohlaví

..... a na závěr ? Za (téměř) vším hledej člověka