

HODNOCENÍ RIZIK SOUVISEJÍCÍCH S POUŽITÍM KAPALNÉHO AMONIAKU

OTAKAR J. MIKA^a a JIŘÍ MATOUŠEK^b

^a Vysoké učení technické, Fakulta chemická, Purkyňova 118, 612 00 Brno, ^b Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Kamenice 3, 625 00 Brno
otakar_mika@email.cz

Došlo 24.2.10, přepracováno 26.8.10, přijato 15.11.10.

Klíčová slova: amoniak, závažná chemická havárie, modelování úniků amoniaku, zóna havarijního plánování

Obsah

1. Úvod
2. Hodnocení malých havarijních úniků amoniaku
3. Amoniak a zóny havarijního plánování
4. Návrh na zavedení zvláštního režimu „podlimitních zdrojů rizika“
5. Závěr

1. Úvod

Amoniak (čpavek, NH_3) má velké množství technických aplikací, proto je široce používanou nebezpečnou chemickou látkou. Je toxický, hořlavý i výbušný – z těchto vlastností je bezpochyby nejdůležitější jeho toxicita.

Klinické projevy otravy amoniakem jsou charakteristické – od podráždění dýchacích cest při mírném postižení až po závažné pulmonální potíže včetně akutní dechové nedostatečnosti. Mechanismus otravy se vysvětluje vysokou rozpustností amoniaku ve vodě, čímž vzniká hydroxid amonný, který současně se značným místním tepelným účinkem (vlivem chemické reakce) působí destruktci sliznic a poleptání. Kontakt může působit popáleniny kůže a vezikace, podráždění očí, zánět spojivek a hrtanu. Amoniak je absorbován horním dýchacím traktem, ale postižení silně koncentrovaným plynem nebo dlouhodobá expozice může způsobit tracheobronchiální nebo pulmonální zánětlivou reakci¹.

Amoniak se používá se při výrobě hnojiv, plastických hmot, vláken a výbušnin. Významné je jeho rozšířené technické použití jako chladicího media především v potravinářských provozech. Amoniak je za normálního tlaku a teploty bezbarvý plyn, lehčí vzduchu, ostrého štiplavého zápachu, při odpařování z kapalného stavu tvoří chladné mlhy, které jsou těžší než vzduch, se vzduchem tvoří leptavé výbušné směsi, je málo hořlavý. Amoniak může být skladován a přepravován jako kapalina. Rozlitý kapalný amoniak ihned vře a při odpařování ochlazuje okolí².

Bezvodý amoniak používá na území České republiky asi 155 zimních stadiónů a asi 500–600 velkokapacitních chladicích zařízení v potravinářském průmyslu. Jde například o pivovary, mrazírny, sodovkárny, mlékárny, jatka, apod.¹. Průmyslová chladicí zařízení zde instalovaná jsou většinou moderní, ale obsahují relativně velká množství amoniaku. Přesto jmenované objekty a zařízení s amoniakem zpravidla nespádají pod dikci zákona o prevenci závažných havárií³. Uvedený zákon v případě amoniaku totiž stanoví hmotnostní limit pro zařazení objektu nebo zařízení do skupiny A hodnotu 50 a více tun amoniaku³.

To ovšem v podstatě znamená, že jde o závažné zdroje rizik, které jsou mimo zákonný režim prevence závažné havárie. Z nich jen některé mají zpracované podrobné havarijní plány (nebo havarijní karty zařízení) pro případ vzniku provozní poruchy nebo havárie v objektu nebo zařízení s amoniakem.

Ve srovnání s dalšími chemickými toxickými látkami, které jsou nejvíce rozšířeny jako například fosgen a chlor je možno konstatovat, že obě výše uvedené chemické látky jsou podstatně toxičtější (zvláště fosgen) než amoniak. Poměrně výraznou kladnou vlastností amoniaku je také skutečnost, že amoniak má velmi nízký čichový práh, což je v technické a technologické praxi velmi dobrou vlastností jedovatého plynu. Většina lidí totiž dokáže rozeznat ostrý a výrazný zápach amoniaku již při koncentraci 1 mg m^{-3} ve vzduchu, zatímco k nevratnému poškození organismu dochází⁴ při době vdechování 1 min až při koncentraci 500 mg m^{-3} . Pronikavý a typický štiplavý zápach amoniaku je tak možno bezesporu považovat za velmi výraznou varovnou vlastnost amoniaku. V protikladu k tomu je možno uvést oxid uhelnatý, který je bez zápachu, a proto je velmi nebezpečný a zákeřný.

2. Hodnocení malých havarijních úniků amoniaku

Pro možné úniky jedovatého amoniaku byly zvoleny zcela konkrétní tzv. „konzervativní podmínky“. To znamená, že se jedná o podmínky možné a současně nejhorší z hlediska zasažení osob jedovatým plynem. Nejčastěji se uvažuje jako vertikální stav atmosféry inverze (izotermie) a rychlost větru v místě úniku 1 m s^{-1} . Pro jednotlivá modelování havarijních úniků jsou dále uvedena konkrétní data. Nutno připomenout, že amoniak je považován podle renomovaného a obecně používaného odborného zdroje⁵ za toxickou látku se střední toxicitou. Stejný zdroj považuje chlor za toxický plyn vysoké toxicity a fosgen za toxický plyn s velmi vysokou toxicitou.

Malé hmotnosti amoniaku (viz tab. I) byly modelovány osvědčeným SW nástrojem: ROZEX 2003, 1991–2006

TLP, s.r.o. Vyhodnoceno jako PUFF – jednorázový únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku. Teplota látky 20 °C. Rychlost větru 1 m s⁻¹. Typ atmosférické stálosti F – středně stabilní podmínky. Typ povrchu pro šíření oblaku: městská a průmyslová oblast. Hmotnost uniklé látky: viz tab. I. Maximální dosah oblaku: viz tab. I. Volba toxické koncentrace byla pro toto modelování stanovena jako 50% mortalita pro expozici 5–10 min, zraňující při okamžité expozici 0,0087 kg m⁻³ (12 000 ppm).

Malé hmotnosti amoniaku (viz tab. II) byly modelovány dalším SW nástrojem USA: ALOHA 5.4.1 (Areal Locations of Hazardous Atmospheres). Vyhodnocení jako jednorázový únik látky. Teplota látky 20 °C. Rychlost větru 1 m s⁻¹. Typ vertikální atmosférické stálosti: inverze. Typ povrchu pro šíření oblaku: městská zástavba. Zóna nebezpečné toxické koncentrace byla vybrána pro červenou zónu (nejvíce nebezpečná zóna), která je charakterizována hodnotou ERPG-3 = 750 ppm. Program nabízí také možnost modelování pro oranžovou zónu, jež je charakterizována hodnotou ERPG-2 = 150 ppm, případně žlutou zónu s ERPG-1 = 25 ppm.

V další tabulce III je názorně ukázáno, jak významný je vliv místních povětrnostních podmínek – především rychlosti větru v místě chemické nehody nebo i menší havárie. Podmínky modelování jsou stejné jako u modelování shrnutého v tab. I. Jako jednotkové množství je zde zvoleno uniklé množství amoniaku v hodnotě pouhých 100 kg.

Nehledě na rozdíly ve výše uvedených výsledcích modelování (tab. I, II a III) je zcela patrné, že už havarijní únik nízkých hmotností amoniaku může vážně ohrozit nebo nebezpečně zasáhnout obyvatelstvo v okolí provozovatele objektu nebo zařízení, kde je amoniak umístěn, nemluvě ani o závažnějším ohrožení vlastních zaměstnanců.

Tabulka I

Maximální dosah toxického oblaku v závislosti na hmotnosti uvolněného NH₃

Hmotnost uniklého amoniaku [kg]	Maximální dosah toxického oblaku [m]
50	160
100	220
200	280
300	330
400	370
500	400
600	430
700	460
800	480
900	500
1000	520

Tabulka II

Rozsah nejvíce nebezpečné zóny v závislosti na množství uvolněného NH₃

Hmotnost uniklého amoniaku [kg]	Červená zóna nebezpečné toxické koncentrace [m]
50	327
100	486
200	695
300	850
400	979
500	1100
600	1200
700	1300
800	1400
900	1500
1000	1600

Tabulka III

Dosah toxického oblaku po uvolnění 100 kg NH₃ v závislosti na rychlosti větru

Rychlost větru v místě úniku [m s ⁻¹]	Maximální dosah toxického oblaku [m]
1	220
2	220
3	150
4	120
5	82
6	56
7	43
8	43

Možným dostatečným preventivním řešením je vytvoření a zavedení zvláštního režimu pro objekty a zařízení s kapalným amoniakem, jak jej navrhuje dále.

3. Amoniak a zóny havarijního plánování

Problematiku zón havarijního plánování řeší závazná prováděcí vyhláška⁶. Zóna havarijního plánování se vymezuje jako plocha ohraničená vnější hranicí zóny havarijního plánování, sousedící s územím, pro něž se zpracovává vnitřní havarijní plán.

Na příkladu amoniaku lze prokázat, že závazná metoda z uvedené vyhlášky⁶ je velmi hrubá a tím i značně nepřesná. Amoniak byl zde vybrán proto, že ačkoliv existují mnohem jedovatější průmyslové chemické látky, amoniak je velmi rozšířen v infrastrukturách moderní společnosti, jak bylo ukázáno v úvodní části.

Amoniak má v metodě použité v uvedené prováděcí vyhlášce⁶ referenční číslo 31 (zkapalněný tlakem) nebo 36 (zkapalněný chlazením) – a je charakterizován jako „toxický plyn střední toxicity“, což vychází ze shora uvedené metodiky IAEA⁵. Podle množství látky (hmotnosti) v tunách jsou podle tab. IV stanoveny hodnoty parametru R v metrech překvapivě stejně (pro referenční číslo 31):

- 1 až 5 tun 200 metrů,
- 5 až 10 tun 200 metrů.

Jinými slovy to znamená, že havarijní únik 1 tuny amoniaku se z hlediska možnosti zasažení osob rovná havarijnímu úniku 10 tun.

Pro lepší představu havarijních dopadů jsou níže uvedeny v tab. IV havarijní úniky (a jejich dosahy) pro 1, 5 a 10 tun amoniaku. Podmínky modelování havarijních dopadů byly pro všechny tři hodnoty stanoveny stejně, jedná se v podstatě o konzervativní prognózu.

Z uvedené tabulky výsledků modelování ohrožení osob únikem jedovatého amoniaku je jasně patrné, jak významně ohrožení osob závisí na uniklém množství (hmotnosti) amoniaku. Proto je třeba u každého zdroje rizika znát, případně odhadnout maximální možné reálné množství a tento údaj použít k dalšímu vyhodnocení. Už i při relativně malých množstvích jsou zřejmé značné rozdíly v dosahu toxického oblaku.

Pokud se používají (viz již uvedená tab. IV z citované prováděcí vyhlášky) pro množství látky univerzální intervaly 1 až 5 tun, 5 až 10 tun, 10 až 50 tun, 50 až 200 tun je jasné, že v těchto případech budou hodnoty dosahu ohrožení osob ještě rozdílnější, zvláště při vyšších hmotnostech uniklé látky.

Proto je obecně doporučeno modelování havarijních dopadů pomocí „jednotného SW“, protože mimo jiné se zadávají konkrétní množství uniklých látek, nikoliv intervaly. Nehledě k tomu, že všechny SW nástroje mohou uplatnit konkrétní meteorologické podmínky při výpočtech; tyto podmínky mají zcela zásadní vliv na šíření oblaku toxických plynů, par a aerosolů.

4. Návrh na zavedení zvláštního režimu „podlimitních zdrojů rizika“

Jako návrh zvláštního režimu pro objekty a zařízení s kapalným amoniakem na tomto místě předkládáme sou-

Tabulka IV
Různé hmotnosti amoniaku a dosahy k srovnání s vyhláškou⁶

Hmotnost uniklého amoniaku [t]	Maximální dosah toxického oblaku [m]
1	520
5	1410
10	1920

bor následujících opatření:

- sběr přesných dat ohledně množství a stavu amoniaku v jednotlivých zdrojích rizika,
- základní data o používané technologii, kde se amoniak používá,
- historická data ohledně proběhlých závažných poruch a závažných havárií,
- přesné umístění zařízení s amoniakem,
- detekční a monitorovací systémy pro zjištění havarijního úniku amoniaku,
- možnosti vytvoření vodních clon pro zmírnění havarijních dopadů uniklého amoniaku,
- zpracování možných havarijních scénářů úniků amoniaku,
- zpracování možných opatření na zmírnění dopadů velké poruchy nebo havárie,
- stanovení rychlého a spolehlivého varování dotčeného obyvatelstva,
- stanovení přesných informačních toků pro včasné a úplné vyrozumění základních složek integrovaného záchranného systému,
- stanovení přesně definovaných informačních toků pro oznámení události státním správním orgánům,
- vypracování havarijních plánů (obsah a rozsah) pro objekty a zařízení s amoniakem, případně havarijních karet zařízení, která amoniak obsahují.

Nejvhodnějším místem sběru a sestavení souboru takových dat jsou krajská ředitelství Hasičského záchranného sboru (HZS), která se intenzivně zabývají problematikou krizového a havarijního plánování a řízení.

Zatímco prvních šest opatření lze relativně snadno splnit místním šetřením u provozovatele a studiem projektové a provozní dokumentace, zpracování dalších opatření je značně obtížnější. Při zpracování možných havarijních scénářů úniků amoniaku a vypracování havarijních plánů pro objekty a zařízení s amoniakem, případně jen vypracování havarijních karet zařízení, která amoniak obsahují, by měly provozovateli vypomoci bezplatným odborným a metodickým vedením krajská ředitelství HZS ve spolupráci s oddělením ochrany životního prostředí krajského úřadu.

Ideálním technickým řešením je vytvoření jednoduchého, ale účinného bezpečnostního ochranného systému pro havarijní úniky amoniaku. Tím se má na mysli skutečnost, že projektované technické řešení je zpracováno tak, aby v případě havarijního úniku amoniaku a dosažení stanovené koncentrace byli bezodkladně informováni hasiči, řídicí centrum podniku a obsluhující personál o vzniklé situaci. V případě dosažení stanovené koncentrace amoniaku v ovzduší dojde v místě havarijního úniku k automatické aktivaci vodního skrápěcího zařízení. Voda je dostupnou látkou a dobře rozpouští plynný amoniak. Funkci skrápěcího zařízení (vytvoření vodní mlhy) je rozpustit jedovatý amoniak ve vodě a výrazně tak snížit jeho koncentraci v oblaku plynného amoniaku se vzduchem, který se dále šíří do okolí. Takové zařízení může být relativně drahé a to především detekční a monitorovací část

bezpečnostního ochranného systému.

Výše popsaná technická praxe by podstatně zvýšila havarijní připravenost všech podlimitních zdrojů rizika a tím následně zvýšila účinnou ochranu obyvatelstva v okolí objektů a zařízení s podlimitním množstvím kapalného amoniaku.

5. Závěr

Je nutno říci, že například mnoho potravinářských provozů (které jsou výše podrobně jmenovány) v mnoha městech a obcích České republiky má průmyslové chladicí zařízení s amoniakem. Je to také řada zimních stadionů. Pro nízké hmotnosti amoniaku pak nejsou tyto objekty a zařízení zařazeny ani do skupiny A podle zákona o prevenci závažných havárií.

Z vyhodnocení jednotlivých modelovaných případů dopadů havarijního úniku kapalného amoniaku je jasné zřejmé, že tato nebezpečná průmyslová chemická toxická látka představuje značné nebezpečí, a to i v relativně nízké hmotnosti nejen pro vlastní zaměstnance provozovatele, ale především a hlavně pro obyvatelstvo v okolí objektů a zařízení, která vyrábějí, skladují, manipulují s amoniakem nebo ho přepravují. Obdobně představuje značné nebezpečí i železniční a silniční přeprava amoniaku, hmotnosti přepravované látky jsou pak značně vysoké při srovnání s objekty a zařízeními, kde je umístěno a provozováno průmyslové chlazení amoniakem.

Je s podivem, že při těchto známých skutečnostech je „limitní množství amoniaku pro zařazení objektu nebo zařízení“ stanoveno na hodnotu až 50 tun amoniaku (pro skupinu A), a 200 tun (pro skupinu B) podle zákona o prevenci závažných havárií. Přitom již havarijní únik kolem 100 kg kapalného amoniaku je schopen významně ohrozit nebo zasáhnout obyvatelstvo v okolí takového zdroje rizika.

Prevence závažných havárií před působením následků havarijních dopadů byla přijata jak v podmínkách Evropy, tak i České republiky k tomu, aby byla zabezpečena zvýšená ochrana osob, životního prostředí a majetku, především v okolí provozovatele. Toho lze dosáhnout nejen úplným a důsledným uplatněním zákonných povinností, ale také dalším rozvojem metod analýzy a hodnocení rizik.

Ochrana člověka a jeho zdraví musí zůstat v trvalé pozornosti nejen provozovatelů nebezpečných chemických látek, ale také správních orgánů a v neposlední řadě i samotných občanů, kteří žijí nebo pracují v zóně havarijního plánování (nebo jen v blízkosti objektů a zařízení s amoniakem).

V České republice existují stovky až tisíce zařízení s nebezpečnými látkami, která mají vyšší úroveň rizika než mnohé velké průmyslové celky. Osoby odpovědné za provoz takových zařízení by se měly zamyslet nad dosaženou úrovní bezpečnosti. Pokud není dosaženo uspokojivé úrovně bezpečnosti, měla by se společně s odborníky hledat

účinná řešení pro snížení rizika těchto zařízení na společensky přijatelnou úroveň.

Tato výzva rovněž patří kompetentním pracovníkům správních úřadů, které musí otázky těchto rizikových nebezpečných zařízení důsledně řešit. Musí však také poskytnout obyvatelstvu v okolí takových objektů a zařízení předem dostatečnou informaci o základních zásadách ochrany a způsobech jednání a chování v případě závažné havárie (nebo jen havárie). Komunikace s místním obyvatelstvem, především pak v blízkém a ohroženém okolí objektů a zařízení s nebezpečnými chemickými látkami a přípravky, je velmi významná.

Vyhodnocování možných dopadů závažných havárií je nutné provést jako prognózu již předem, protože to umožní se lépe a zodpovědněji připravit na dopady a likvidaci následků závažné průmyslové havárie.

LITERATURA

1. Mika O. J., Neklapilová V., Vučinič S., Stojilkovič M. P.: *Vojenské Zdravotnické Listy* 2, 63 (2005).
2. Mika O. J., Melkes V.: *Prevence závažných průmyslových havárií*. Univerzita obrany, Brno 2005.
3. *Zákon č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií způsobených chemickými látkami a chemickými přípravky*.
4. Čapoun T., Krykorková J., Mika, O. J., Navrátilová L., Urban I.: *Chemické havárie*. Generální ředitelství hasičského záchranného sboru České republiky, Praha 2009.
5. International Atomic Energy Agency: *Manual for the classification and prioritization of risks due to major accidents in process and related industries*, IAEA TECDOC-727, (Rev.1), Vienna 1996.
6. *Vyhláška č. 103/2006 Sb., o stanovení zásad pro vymezení zóny havarijního plánování a o rozsahu a způsobu vypracování vnějšího havarijního plánu*.

O. J. Mika^a and J. Matoušek^b (^a*Institute of Chemistry and Technology of Environmental Protection, Faculty of Chemistry, University of Technology, Brno*, ^b*Research Centre for Toxic Compounds in the Environment, Faculty of Science, Masaryk University, Brno*): **Risk Assessment of Using Liquid Ammonia**

The hazardous toxic chemical substance – liquid ammonia is widely used as a cooling medium in about 500–600 food industry facilities and 155 ice stadiums in the Czech Republic. Even a small accidental leakage could be very dangerous for people in the vicinity of risk sources. Consequences of small leakages of ammonia were modelled and confronted with existing legal instruments. A new approach is suggested for a special emergency plan for facilities with dangerous amounts of liquid ammonia, which are, however, below legal limits.