

RETROSPEKTIVNÍ ANALÝZA MASIVNÍHO ÚNIKU KAPALNÉHO
CHLORU V JORDÁNSKÉM PŘÍSTAVU AL DURRA
RETROSPECTIVE ANALYSIS OF A MASSIVE RELEASE OF LIQUID
CHLORINE IN THE JORDANIAN PORT OF AL DURRA

Ing. Jakub Marek, MSc¹, doc. RNDr. Mgr. Petr A. Skřehot, Ph.D., MSc., dr.h.c.²

doc. Mgr. Zdeněk Hon, Ph.D., dr.h.c.¹

1. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství,

Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva

2. Znalecký ústav bezpečnosti a ochrany, z. ú., Praha 5

Abstrakt

Tento článek prezentuje výsledky retrospektivní analýzy nehody, která se stala v jordánském přístavu Al Durra dne 27. června 2022, kdy během nakládky kontejnerové lodi došlo k prasknutí vazacích lan a k pádu mobilní cisterny obsahující kapalný chlor. Pádem z výšky cca 5 metrů na palubu lodi došlo k roztržení pláště cisterny, přičemž vzniklými rupturami během několika vteřin uniklo veškeré množství, tj. 25 tun chloru. Z hlediska vlastního průběhu se jednalo o nehodu, která nemá v historii obdoby. Díky tomu, že byla zachycena na videokamery, z ní ale činí událost zcela unikátní, neboť ji lze zpětně zkoumat a analyzovat. Pro provedenou analýzu tohoto incidentu byly použity deskriptivní techniky v kombinaci s modelováním reálného scénáře této události za pomoci zvoleného software. Použit byl numerický program ALOHA, který umožňuje provádět výpočty rozptylu těžkých plynů, a to za různých podmínek. Tento článek popisuje závěry z provedené analýzy, z níž překvapivě vyplynulo několik zjištění, které byly v rozporu s popsány následky této nehody.

Klíčová slova: nehoda, chlor, těžký plyn, počítačové modelování.

Abstract

This paper presents the results of a retrospective analysis of an accident that occurred in the Jordanian port of Al Durra on 27 June 2022, when a mobile tanker containing liquid chlorine broke its tie-ropes and fell during the loading of a container ship. The tanker's shell was torn by the fall from a height of about 5 metres onto the deck of the ship, and the resulting rupture released the entire quantity, i.e. 25 tonnes of chlorine, in a matter of seconds. In terms of the actual course of events, this was an unprecedented accident. However, the fact that it was captured on video cameras makes it a completely unique event, as it can be studied and analysed retrospectively. Descriptive techniques were used to analyse this incident in combination with modelling a real scenario of this event using the chosen software. The numerical program ALOHA was used, which allows calculations of heavy gas dispersion to be performed under different conditions. This article describes the conclusions of the analysis carried out, which surprisingly revealed several findings that contradicted the described consequences of this accident.

Key words: accident, chlorine, dense gas, computer modelling.

Úvod

Průmyslové havárie spojené s únikem nebezpečných chemických látek si již vyžádaly mnoho lidských životů. Z historie nelze opominout rozsáhlé závažné havárie jako například v italském Sevesu (1976, únik prudce jedovatého dioxinu) nebo indickém Bhópálu (1984, únik methyloxyanátu a kyanovodíku), ale i závažné havárie z nedávné doby jako např. Bejrút (2020, devastující výbuch dusičnanu amonného), nebo nehoda v jordánském přístavu Al Durra (2022, únik kapalného chloru). Příčinou vzniku uvedených nehod bylo vždy selhání lidského činitele.

Popis nehody v Akabě

K nehodě v jordánském přístavu Al Durra došlo 27. 6. 2022 v 8:51 hodin místního času během nakládky kontejnerové lodi mobilními cisternami obsahujícími kapalný chlor [11]. Nádrže byly naplněny 25 tunami chloru a jejich nakládka se prováděla pomocí přístavního jeřábu. Při manipulaci s jednou z cisteren došlo k přetržení ocelových vázacích lan, čímž došlo k pádu cisterny z výšky cca 5 metrů na palubu lodi. Následkem toho došlo ke vzniku dvou ruptur v plášti havarované cisterny a k okamžitému úniku kapalného chloru do okolního ovzduší. Jelikož je chlor za běžného atmosférického tlaku a teploty plyn, došlo ihned k přechodu kapalně fáze na plynnou (viz obrázek 2 a 4). Dle výsledků vyšetřování došlo následkem nehody k úmrtí 13 osob a ke zranění 251 lidí. Na obrázcích 1 až 4 je zachycen průběh této nehody. Na obrázku 1 je zachycena nakládka pomocí jeřábu a na obrázcích 2 až 4 postupný masivní únik 25 tun kapalného chloru. Na obrázku 5 je havarovaná mobilní cisterna.



Obr. 1. Manipulace s cisternou (v červeném kroužku) naplněnou 25 tunami chloru. [8]



Obr. 2 Únik kapalného chloru bezprostředně po pádu přepravní cisterny na ložnou plochu lodi vzniklou rupturou. [8]



Obr. 3 Pohled na unikající kapalný chlor do ovzduší, kde došlo k jeho přeměně na plynný. [8]

Z obrázku je patrné, že velikost ruptury byla značná, neboť na obrázku je zachycen vznikající oblak plynného chloru cca 2-3 sekundy po vzniku ruptury v plášti cisterny.



Obr. 4 Pohled na šířící se oblak plynného chloru. [8]

Při úniku kapalného chloru ze skladovacího zařízení do ovzduší za standardních atmosférických podmínek (atmosférický tlak, teplota) dochází k jeho okamžité přeměně na plyn. Jelikož mají molekuly plynného chloru větší molekulovou hmotnost než molekuly plynů tvořících vzduch, vzniká při jeho úniku oblak těžkého plynu. Těžký plyn je charakteristický tím, že se chová jako tekutina šířící se podél zemského povrchu a jen velmi málo se mísí s okolním vzduchem. Takový oblak prakticky po zemském povrchu teče podobně jako oblaky vodní mlhy vznikající po ránu nad podchlazeným zemským povrchem. Vezmeme-li navíc v úvahu vysokou toxicitu chloru (smrt může způsobit již koncentrace 50 ppm inhalovaná po dobu více jak 10 minut u citlivě reagujících jedinců [17]), jeho silnou žíravost a velkou afinitu k vodě (tj. schopnost se v ní rozpouštět), lze havárie spojené s únikem této látky považovat za jedny nejnebezpečnějších událostí vůbec. Dochází

při nich nejen k ohrožení lidí, ale také vážnému poškození životního prostředí nebo i konstrukčních prvků (koroze kovových konstrukcí apod.).



Obr. 5: Pohled na přepravní cisternu poškozenou pádem. [6]

Z videozáznamů pořízených během nehody v Al Durra je patrné, že většina z 25 tun chloru unikla z cisterny za pouhých 17 sekund. Přesná příčina této události, tj. z jakého důvodu došlo k přetržení vazacích lan (viz obrázek 6), dosud nebyla určena (resp. zveřejněna). Nicméně z praxe je známo, že k takovýmto nehodám může dojít zejména:

- použitím nevhodných nebo poškozených vazacích prostředků;
- špatným upevněním vazacích prostředků na manipulované břemeno nebo závěsný hák;
- přetížením vazacích prostředků nebo jeřábu;
- vadou materiálu (při správném zacházení a provádění kontrol/revizí minimální pravděpodobnost coby příčina vzniku nehody);
- porušením stanovených pracovních postupů správné manipulace s břemeny.



Obr. 6 Pohled na přetržené vázací prostředky (ocelová lana). [1]

Popis místa nehody

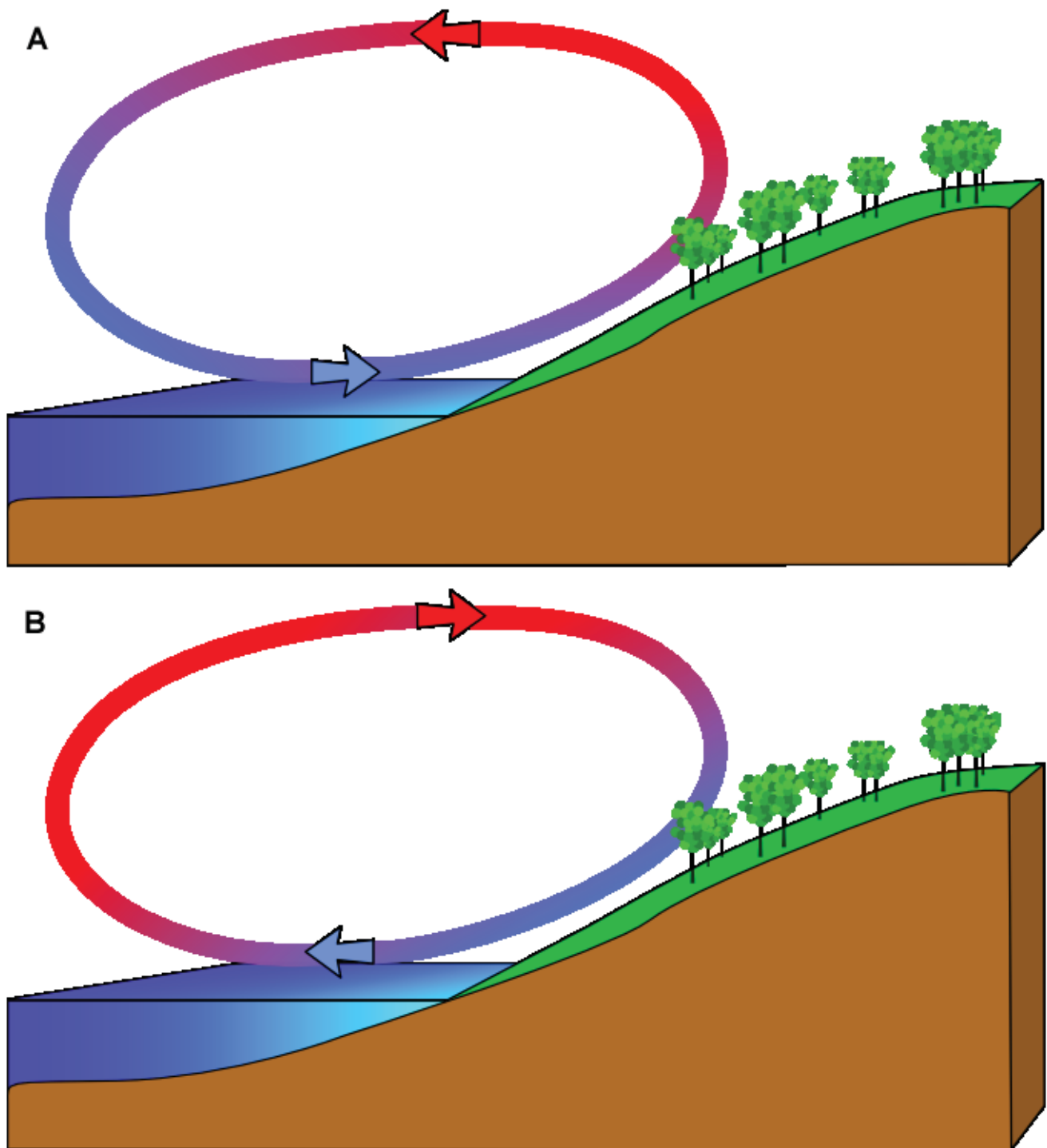
Nákladní přístav Al Durra se nachází v jižním Jordánsku, v governorátu Akaba, respektive v severní části Akabského zálivu. Tento záliv vychází z Rudého moře a odděluje Sinajský (západ) a Arabský (východ) poloostrov. Jedná o nehostinnou skalnatou krajinu, takže v bezprostřední blízkosti se nenachází žádná obytná zástavba. Nejbližší osídlená oblast je 4 km severně od místa nehody, přičemž ve vzdálenosti cca 5 km severně se nachází turistické letoviště Tala Bay a jižně ve vzdálenosti 7 km město Haql (viz obrázek 7).



Obr. 7 Satelitní snímek přístavu Al Durra a přilehlé oblasti. Červený bod značí místo nehody. [9]

V okamžiku nehody v přístavu vanul vítr ve směru od moře na pevninu, jak bylo možné zřetelně vidět podle směru třepotání lodní vlajky zachycené na videozáznamech. Podle napínání vlajky větrem bylo také znát, že se již pozvolna začínala vytvářet denní cirkulace mořské brízy. Mořská bríza, odborně nazývaná katabatický vítr, je pravidelný denní chod směru vanutí větru v přímořských oblastech. Během dne vane vítr z moře na pevninu (viz obrázek 8A), zatímco v noci z pevniny na moře (viz obrázek 8B). Je to dáno tím, že v noci je vodní plocha vůči pevnině teplejší, zatímco přes den je tomu naopak. Díky takto vznikajícím rozdílům

teplot jednotlivých vzduchových hmot dochází ke vzniku lokálních cirkulačních systémů vázaných na linii pobřeží.



Obr. 8 Princip vzniku mořské brízy. [3]

Vstupní údaje pro modelování nehodové události

Parametry zdroje úniku ani vzniklého oblaku chloru nebyly publikovány, takže bylo nutné tyto údaje získat na základě rozboru dostupných videozáznamů a článků zveřejněných na zpravodajských portálech. Rovněž nebyl znám celkový počet osob, které se v okamžiku nehody vyskytovaly v přístavu, nicméně z informací o počtu zraněných a s ohledem na značnou velikost areálu přístavu lze předpokládat, že se jednalo o stovky osob.

Známymi údaji bylo celkové množství uniklého chloru, velikost ruptury a samotný průběh nehody. Naproti tomu charakteristiky místa úniku a meteorologické podmínky bylo nutné dodatečně zjistit za využití informací dostupných na internetu (mapy.cz, meteoblue, apod.). Vzhledem ke skutečnosti, že nebylo možné zjistit přesné informace o rychlosti a směru vanutí větru, byla provedena analýza videozáznamů.

Na inkriminované lodi byla zřetelně vidět lodní vlajka třepotající se ve větru, takže podle jejího napínání a orientace vůči lodi byla za pomoci Baufortovy stupnice odhadnuta rychlost větru ve výšce 10 metrů nad zemí, resp. směr vanutí větru.

Samotné modelování nehody a výpočet dosahu zraňujících koncentrací chloru bylo provedeno za využití počítačového programu ALOHA. [13] Do programu byly zadány vstupní parametry uvedené v tabulce 1.

Tab. 1 Parametry události. [2, 6, 7, 8]

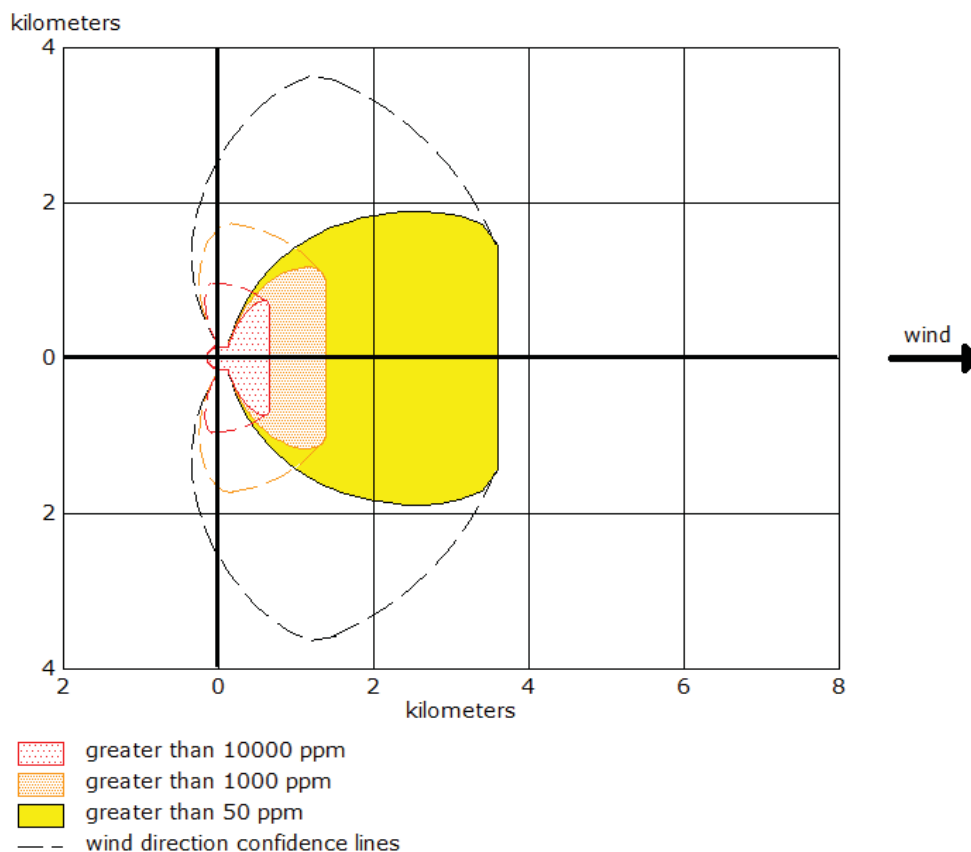
Parametry zdroje	
Druh cisterny:	Horizontální cylindrický zásobník
Rozměry:	6,058 m (d) x 2,4 m (ø)
Max. pracovní tlak:	16,4 bar
Vodní objem:	23 900 l
Množství uskladněného chloru:	25 t
Teplota uskladněného chloru:	v rovnováze s teplotou vzduchu

Parametry ruptur v přepravní cisterně *	
Rozměry ruptury 1:	0,18 m (š) x 0,48 m (v)
Rozměry ruptury 2:	0,18 m (š) x 0,36 m (v)
Místní podmínky	
Teplota vzduchu:	29 °C
Relativní vlhkost vzduchu:	25 %
Rychlost větru v 10 metrech:	2 m/s
Směr vanutí větru:	Jihozápadní
Stupeň pokrytí oblohy mraky:	Jasno (0/8)
Třída stability atmosféry:	D
Výskyt inverze	NE

*) Vzhledem ke skutečnosti, že software ALOHA neumožňuje modelaci pro více únikových otvorů najednou, bylo nutné korekci stanovit jeden únikový otvor/rupturu o velikosti 0,66 m (v) x 0,27 m (š).

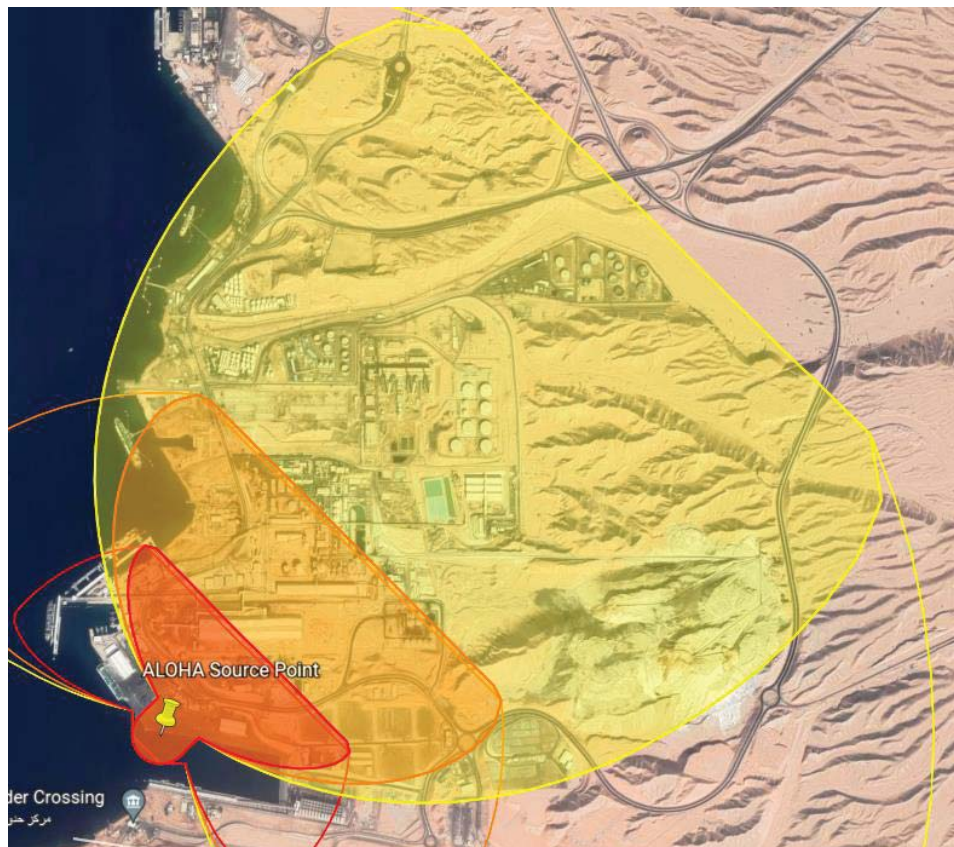
Výsledky a diskuse

Po zadání parametrů zdroje a místních podmínek do software ALOHA byl proveden první výpočet. Jeho výsledky se však významně rozcházel se skutečností (viz videozáznamy), neboť ukazovaly, že šíření oblaku mělo výrazně směrový charakter, přičemž stopa oblaku pro koncentraci 50 ppm výrazně překračovala 10 km. Tento výsledek se s realitou evidentně značně rozcházel. Proto byla postupně provedena dílčí úprava (zpřesnění) vstupních parametrů pomocí fitování a současně byl explicitně zadán výpočtový model "Heavy Gas Dispersion". Výsledky takto provedeného modelování pak zachycují obrázky níže.

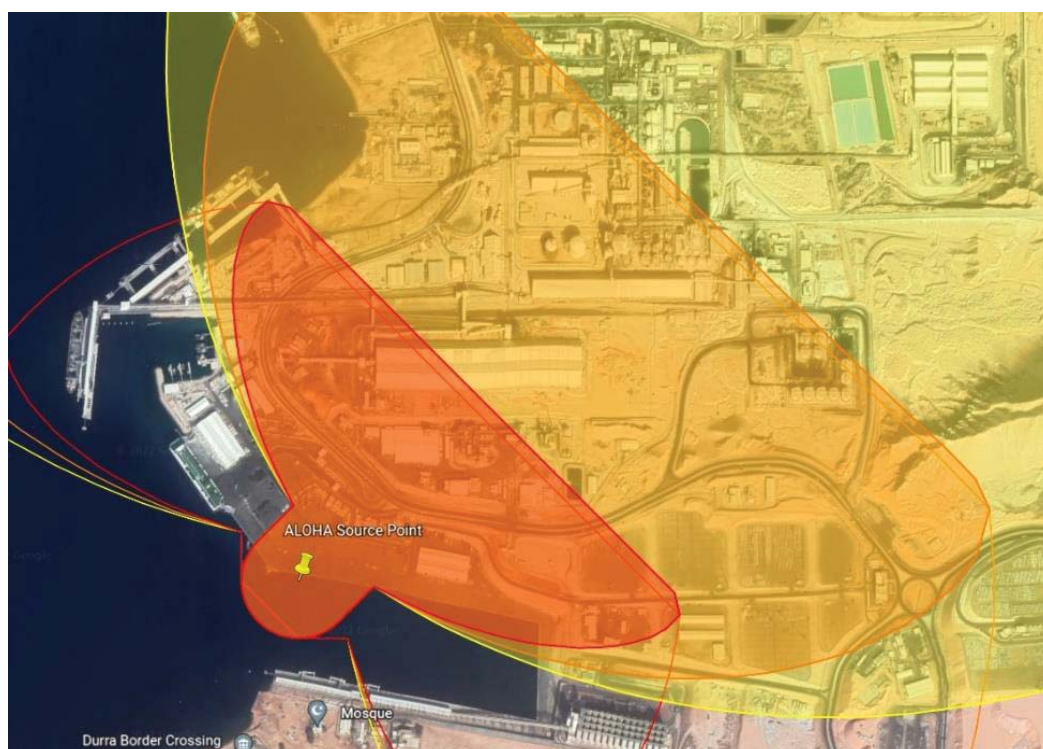


Obr. 9 Zóny zranitelnosti vytvořené v programu ALOHA. [vlastní zpracování]

Pro vykreslení jednotlivých zón zranitelnosti byly použity tři úrovně koncentrací (50 ppm, 1 000 ppm a 10 000 ppm). Koncentrace chloru 50 ppm je koncentrace život ohrožující, neboť již při expozici trvající 10 minut může dojít k úmrtí citlivě reagujících jedinců [17]. Tato žlutá zóna dosahuje do vzdálenosti 3,600 km a široká je téměř 4 kilometry. Při koncentraci chloru 1 000 ppm po dobu expozice několika minut již člověk umírá [12, 15, 16, 18]. Tato zóna je na obrázcích vyznačena oranžově a dosahuje do vzdálenosti 1,4 km od místa úniku. Třetí zónou pak byla oblast, kde koncentrace chloru mohly přesahovat hodnotu 10 000 ppm. To je koncentrace, při které oblak těžkého plynu ještě není naředěn natolik, aby se mohl rozptýlovat pasivním způsobem (podle Gausovského modelu). Při této koncentraci se tedy oblak chová jako těžký plyn a současně je ještě vizuálně dobře pozorovatelný [10]. Na obrázcích 10 a 11 jsou tyto zóny promítnuty do mapového podkladu za využití aplikace Google Earth. [4]



Obr. 10 Zóny zranitelnosti vyobrazené na reálných mapových podkladech. [vlastní zpracování]



Obr. 11 Detailní pohled na červenou a oranžovou zónu. [vlastní zpracování]

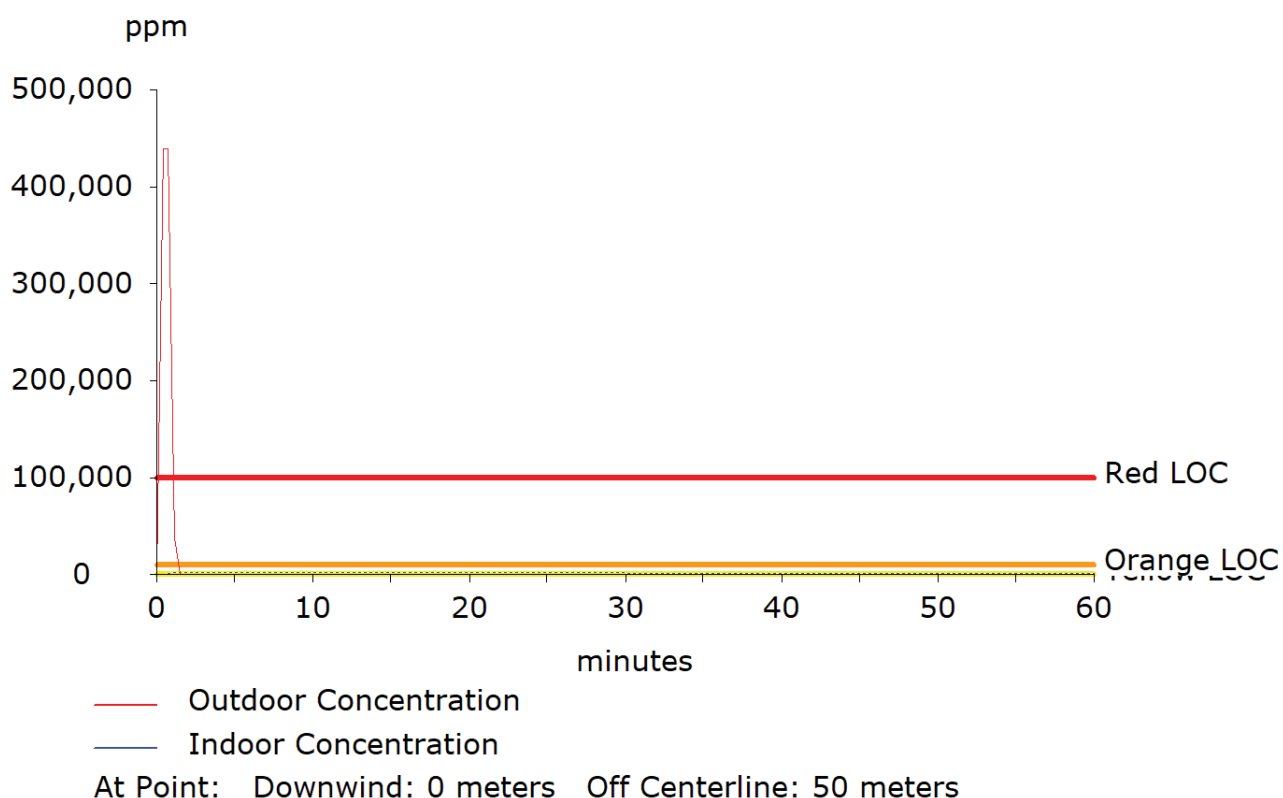
Z obrázku 10 je patrné, že oblak plynného chloru o koncentraci 50 ppm se rozšířil přes celý přístav. Lidé vystavení účinkům šířícího se chloru v této oblasti již mohli pocítit jak mírnější účinky na zdraví (např. podráždění sliznice, kašel) anebo mohli být ohroženi přímo na životě, neboť žlutá zóna představuje oblast, kde se koncentrace mohly pohybovat v rozmezí 50 až 1 000 ppm. V červené a v oranžové zóně, kde se koncentrace mohly pohybovat v rozmezí 1000 až 10 000 ppm (viz obrázek 11), pak neměl šanci na přežití nikdo, kdo by byl, byť na krátký moment, plynným chlorem zasažen. S ohledem na množství lidí, kteří se v přístavu nacházeli, tak lze hovořit o obrovském štěstí ba až zázraku, že si takto závažná a rozsáhlá nehoda vyžádala „jen“ 13 životů. Na druhou stranu tyto informace mohou vyvolávat oprávněnou otázku, nakolik jsou výsledky z naší modelace správné, respektive realistické.

Zajímavý pohled nicméně podává výpočet dosahu koncentrace plynného chloru 10 000 ppm. V tomto případě výsledek do značné míry koresponduje s realitou, neboť podle záznamů z videokamer se viditelný oblak chloru rozšířil přibližně do vzdálenosti 200 až 300 metrů od místa úniku. Je ale potřeba zdůraznit, že část uniklého chloru se rozlila nad vodní hladinu mezi přístavními moly, neboť se jednalo o níže položené místo. Oblak postupující přístavem se ale šířil ve směru proti svažitému a hustě zastavěnému terénu, což postup ve směru vanutí větru značně omezovalo. Proto měl mrak tendenci spíše se rozlévat do stran, tj. podél vrstevnice, nežli postupovat vpřed směrem do vnitrozemí. Tento charakter rozptylu nicméně program ALOHA s jistou mírou nejistoty i predikoval, jak je ostatně patrné z vykreslených konfidenčních linií. V tomto prostoru program apriori nevyloučil možný výskyt oblaku těžkého plynu, vzhledem k zadaným vstupním parametrům.

V rámci modelování nás také zajímalo, jak vysoké koncentrace chloru se mohly vyskytovat v místech, kde se v daný okamžik pohybovali přístavní dělníci. Podle záznamů z videokamer totiž tito lidé panicky prchali před šířícím se oblakem chloru, tedy bylo zřejmé, že ještě nebyli zasaženi vysokými koncentracemi chloru (1 000 ppm a více). Podle měřítka použité mapy jsme odhadli, že se jednalo o vzdálenost cca 50

metrů od lodi. Pro tuto vzdálenost jsme tedy pomocí funkce "Treat At Point" spočítali koncentraci chloru a zjistili jsme, že v této vzdálenosti koncentrace ve svém maximu dosáhla astronomických 450 000 ppm.

Čelo oblaku zde dorazilo v řádu jednotek sekund po úniku, jak to ostatně dokládají i analyzované videozáznamy. Takto vysoká koncentrace je pochopitelně pro nechráněného člověka smrtelná. Zdá se tedy, že tito lidé měli obrovské štěstí, neboť šířícímu se oblaku chloru dokázali utéct. Jelikož ale není znám osud těchto lidí, těžko lze usuzovat na to, zda nakonec přežili, případně s jakými následky. Je totiž nepravděpodobné, že by nebyli zasaženi chlorem vůbec. Dle dostupných videozáznamů je totiž zřejmé, že se oblak chloru šířil velmi rychle a přinejmenším až do vzdálenosti cca 1 km dosahovaly jeho koncentrace hodnot, které nebyly slučitelné se životem.



Obr. 12 Průběh koncentrace chloru ve vzdálenosti 50 metrů od místa úniku, kolmo na směr vanutí větru. [vlastní zpracování, 2022]

Závěr

Nehoda v přístavu Al Durra více než výmluvně dokládá, jak snadno může dojít k velmi závažné nehodě. Jednorázový únik chloru způsobený totální rupturou zásobníku při jeho manipulaci pomocí jeřábu, k němuž zde došlo, nicméně reprezentuje naprosto ojedinělou událost. Její zajímavostí bylo, že byla zdokumentována na videokamery rozmístěné v přístavu, resp. ji natočili očití svědkové na své mobilní telefony. Díky těmto záznamům tak bylo možné tuto událost prostudovat a pomocí retrospektivní analýzy získat informace potřebné pro její počítačovou simulaci.

Pro tento případ byl použit program ALOHA, který je často používaným a široce uznávaným modelovacím nástrojem. Z námi provedené modelace nicméně vyplynulo několik zjištění, které byly v rozporu s popsanými následky této nehody. Předně oblak chloru se dominantně šířil ve směru na otevřené moře a nikoli do prostoru přístavu, kam se dostala odhadem jen cca polovina uniklého množství chloru. Dále bylo zjištěno, že koncentrace chloru na úrovni 1 000 ppm, která již při expozici několika minut může způsobit smrt zasaženého člověka, měla dle výpočtu dosáhnout až do vzdálenosti 1,4 km, což se ale neshodovalo s poznatky o usmrcených lidech v přístavu.

Podle dostupných zpráv při nehodě zemřelo "jen" 13 lidí, což s ohledem na rozsah a průběh události lze považovat za velmi příznivé. Zdá se tedy, že nehody, při nichž dochází ke vzniku oblaků těžkých plynů tvořených toxickými látkami, jakými jsou chlor, amoniak, methyloksyanát apod., mají diametrálně odlišný průběh i následky, než jak je predikováno za použití numerických modelů. Na tuto skutečnost již poukázaly některé publikace [5, 14]. Nejčastěji je to přičítáno působení suché depozice a zachytávání částic tvořících oblaky těžkých plynů na vertikálních površích objektů nebo vegetaci, případně i přízemní vrstvou půdy.

Prostřednictvím tohoto případu jsme se pokusili demonstrovat, že modelování šíření a rozptylu těžkých plynů představuje v mnoha ohledech složitější problém, než si i přední odborníci doposud připouštěli. Používané fyzikální modely zjevně

nejsou schopny postihnout průběh šíření oblaku těžkého plynu v blízkosti zdroje úniku s dostatečnou přesností, z čehož vyplývá klíčový závěr, že na výsledky získané podobnými numerickými simulacemi musíme nahlížet rezervovaně a s jistou dávkou nedůvěry. Stávající počítačové programy jsou totiž pouze pasivními nástroji, které provádí výpočty dle stanovených algoritmů, takže prakticky až empirické zkušenosti z proběhlých nehod mohou odhalit jejich slabiny.

Poděkování

Tento článek byl podpořen grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS22/205/OHK5/3T/17 s názvem Simulace vlivu místních externalit na dosah zraňujících koncentrací těžkého plynu při chemických haváriích.

Seznam použité literatury

- [1] AP Archive. Jordanian PM visits site of Aqaba gas leak. *YouTube* [online]. 2022, 27. 6. 2022 [cit. 2022-08-26]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=lpdI4Xk2erU>
- [2] Archiv počasí Akaba. *Meteoblue* [online]. 2022 [cit. 2022-08-26]. Dostupné z: https://www.meteoblue.com/cs/po%C4%8Das%C3%AD/historyclimate/weatherarchive/akaba_nig%C3%A9rie_2351256?fcstlength=1m&year=2022&month=6
- [3] *Bríza* [online]. WIKIPEDIE, 2022 [cit. 2022-08-26]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Br%C3%ADza>
- [4] GOOGLE. Google Earth 9.169.0.0 [software]. [Transformace dat ze software ALOHA v místě Al Durra, Jordánsko] 2005 [vytvořeno 2022-08-23]. Dostupné z: <https://www.google.cz/intl/cs/earth/>.
- [5] HANNA S. a kol. The Jack Rabbit chlorine release experiments: Implications of dense gas removal from a depression and downwind concentrations. *Journal of Hazardous Materials* [online]. 2012, Duben 2012, 213–214, 406–412 [cit. 2022-08-29]. ISSN 0304-3894. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389412001598?via%3Dihub>
- [6] JORDAN TV. Ředitelství civilní obrany při řešení havárie pádu cisterny s plynem v Akabě. *Twitter* [online]. 2022, 27. 6. 2022 [cit. 2022-08-26]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=rDQopZmxGr0>

- [7] KADATEC: ISO tank containers [online]. KADATEC [cit. 2022-08-29]. Dostupné z: http://www.kadatec.cz/wp-content/uploads/2014/09/ISO_tank_container_en.pdf
- [8] LATESTLY. Jordan: Toxic Chlorine Gas Leak In Aqaba Port Leaves 13 Dead, Over 250 Injured. *YouTube* [online]. 2022, 27. 6. 2022 [cit. 2022-08-26]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=a-z5Vbs9smI&t=42s>
- [9] *Mapy.cz* [online]. SEZNAM.CZ, 26.8.2022 [cit. 2022-08-26]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=34.9587868&y=29.3645560&z=15&base=ophoto>
- [10] SKŘEHOT, P. A. a kol. *Rozptyl těžkého plynu v atmosféře*. Praha: T-SOFT, 2018, 140 s. ISBN 978-80-905401-2-5.
- [11] SOBOTKA, Michal. V jordánském přístavu unikl po nehodě chlor: 13 mrtvých a 251 zraněných. *Novinky.cz: Blízky a Střední východ* [online]. Ammán: Borgis, 2022, 28. 6. 2022 [cit. 2022-08-26]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/clanek/zahranicni-blizky-a-stredni-vychod-v-jordanskem-pristavu-unikl-po-nehode-chlor-13-mrtvych-a-251-zranenych-40401430>
- [12] TSENG, J. M. a kol. Emergency response plan of chlorine gas for process plants in Taiwan. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* [online]. 2008, Červen 2008, 21(4), 393-399 [cit. 2022-08-29]. ISSN 0950-4230. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950423008000077?via%3DiHub>
- [13] US EPA. ALOHA 5.4.7 [software]. 2016 [cit. 2022-08-26]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>. Požadavky na systém: Win 10, velikost 15 MB.
- [14] WANG, H. a kol. Study on convection and dispersion characteristics of dense gases in urban environment considering trees. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* [online]. 2021, 72, [cit. 2022-08-29]. ISSN 0950-4230. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950423021001868>
- [15] Zdravotní rizika: Chlor. *Web.natur.cuni.cz* [online]. 2022 [cit. 2022-08-26]. Dostupné z: https://web.natur.cuni.cz/~kudch/main/halogeny/HALOGENY/HALOGENY/chlor/rizika/rizika_zdrav.html
- [16] ŠEBLOVÁ, Jana a Jiří KNOR. *Urgentní medicína v klinické praxi lékaře*. 1. vyd. Praha: Grada, 2013, 400 s. ISBN 978-802-4744-346.
- [17] NOAA, U. S. EPA a U. S. Coast Guard's Research and Development Center. Chlorine. *CAMEO chemicals 2.8.0 rev 1*. [online databáze]. [cit. 2022-09-09]. Dostupné z: <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/2862>
- [18] Govier, P. a J. M. Coulson. Civilian exposure to chlorine gas: A systematic review. *Toxicology Letters* [online]. 2018, 293, 249-252 [cit. 2022-08-29]. ISSN 0378-4274. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378427418300195>

Kontakt na korespondujícího autora**Ing. Jakub Marek, MSc.**

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta biomedicínského inženýrství

Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva

e-mail: marek@zuboz.cz

Recenze**prof. Ing. Vladimír Pitschmann, CSc.**

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta biomedicínského inženýrství

Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva