

# Výzkum chování těžkého plynu za reálných atmosférických podmínek

## Heavy Gas Behavior Research in Real Atmospheric Conditions

Ing. Jakub Marek

RNDr. Mgr. Petr A. Skřehot, Ph.D.

RNDr. Ing. Marcela Skřehotová

ERGOWORK s.r.o.

Raichlova 2659/2, 155 00 Praha 5

Znalecký ústav bezpečnosti a ochrany zdraví, z.ú.

Divišova 235, 503 02 Pardubice

ergowork@ergowork.cz, zuboz@zuboz.cz

### Abstrakt

V okamžiku uvolnění do atmosféry se některé plyny nebo aerosoly chovají jinak, než jak by odpovídalo klasickému gausovskému rozptylu. V závislosti na vnějších podmínkách tyto disperze setrvávají po určitou dobu v podobě oblaku těžšího než vzduch, který se postupně naředuje vzduchem, zahřívá se od zemského povrchu a pozvolna snižuje svou relativní hustotu. Během této fáze, nazývané negativní vztlínání, je dominantní silou gravitace a nikoli vztlak, jako je tomu u gausovského rozptylu. V prostředí reálné atmosféry se pak významnou měrou uplatňují také místní meteorologické a topografické podmínky, díky čemuž se rozptyl těžkého plynu stává obtížně fyzikálně popsatelem. Tento problém je dobře zřetelný při modelování rozptylů na malých měřících a pro krátké časové úseky, které jsou předmětem zájmu při predikci dopadů chemických havárií. V těchto případech totiž může významnější chyba stanovení vést k nepřesným výsledkům a zavádějícím interpretacím. Je tedy zřejmé, že existující numerické modely je potřeba neustále zpřesňovat a verifikovat a to nejlépe na základě výsledků z experimentálních testů. Jedná se však o proces značně časově, odborně a finančně náročný. Díky realizaci projektu TH01031098 „DEGAS“ podpořeného Technologickou agenturou ČR se však budeme moci tomuto problému věnovat i v ČR, což je zcela unikátní. Smyslem projektu je přispět k pochopení chování některých plynů při jejich nežádoucím úniku a navrhnout spolehlivý rozptylový model. Tento článek se zaměřuje na představení zmíněného projektu a předkládá základní analýzu řešeného problému.

### Klíčová slova

Modelování; těžký plyn; terénní testy; software.

### Abstract

Some gases and aerosol behave in a different way than according to Gaussian dispersion at the time when they are released into atmosphere. In dependence on external conditions these dispersion remains in a cloud shape, which is heavier than air, for certain time. This cloud is diluted by air, it is taking up the heat from Earth surface and it reduces relative density step by step. During this phase which is called as negative rise, there is predominant force gravity than buoyancy as it is at Gaussian dispersion. In real atmosphere environment local meteorological and topographic conditions put into effect significantly. For that reason heavy gas dispersion became hard physically describable. This problem is obvious at dispersion modeling in small scale and for short time period, which are object of interest at chemical accident consequence prediction. In this cases can substantial specific mistake lead to incorrect results and erroneous interpretation. It is apparent that existing numeric models are needed to refine and verify. It is demanding process from point of time, proficiency and finance view. Owing

to project TH01031098 “DEGAS” realization which is supported by Technological Agency CZ, we can solve this problem in Czech Republic as well what is absolute unique. A point of the project is to contribute to some gases behavior comprehension during their unwanted leakage and to contrive reliable dispersion model. This article focuses on introduction mentioned project and it presents basic analyses of solved problem.

### Keywords

Modeling; Heavy Gas; Field Tests; Software.

### Úvod

Atmosféra je prostředím, ve kterém se většina plynů velmi dobře šíří, resp. se zde mísí se vzduchem. Tento proces se nazývá rozptyl. Rychlý a účinný rozptyl je důležitý zejména v případech, kdy je do atmosféry emitován nebezpečný polutant, což při nejrůznějších chemických haváriích bývá například toxický nebo žíravý plyn. V reálné atmosféře ovšem může rozptyl ovlivňovat řada okolností, mezi které patří zejména členitost terénu, rychlost a směr proudění vzduchu či míra vertikálního promíchávání (tj. stabilitní podmínky). Vlastní charakter rozptylu je nicméně determinován fyzikálně-chemickými charakteristikami rozptylované látky, především pak její hustotou za daného tlaku a teploty [1]. Je-li tato větší než hustota vzduchu, má rozptylovaná látka tendenci vytvářet kompaktní oblak, jež setrvává při zemi a šíří se jen velmi pozvolna. V takovém případě hovoříme o těžkém plynu, jehož rozptyl je značně komplikovaný a obtížně predikovatelný [2].

### Účel projektu

Existuje-li reálné riziko, že po úniku látky z průmyslového zařízení může nastat ohrožení obyvatelstva, je nezbytné odhadnout dosah zraňujících koncentrací. K tomu je ale potřeba dokonale pochopit procesy, které mohou rozptyl dané látky ovlivnit, a současně mít k dispozici vhodné nástroje, které umožní dosahy nebezpečných koncentrací vypočítat [1]. V současnosti existuje jen nemnoho počítačových programů vhodných pro modelování rozptylu těžkého plynu. Jedná se vesměs o nástroje licencované a z hlediska uživatelského komfortu poměrně složité. Z tohoto důvodu vznikla veřejná poptávka na vývoj nového nástroje, který by byl vhodný pro širší okruh uživatelů, umožňoval rychlé operativní nasazení a nekladl vysoké nároky na ovládání a vstupní data. A právě tento cíl si vytýčil projekt č. TH01031098 s názvem „Validace a verifikace modelu šíření a disperze těžkého plynu za specifických situací“, který v období 2015-2018 řeší konsorcium společností T-SOFT a.s., ERGOWORK s.r.o., ÚJV Řež a.s. a Fakulta biomedicínského inženýrství ČVUT v Kladně.

### Metodologie řešení

Problematika modelování rozptylu nebezpečných látek v atmosféře představuje náročnou oblast, pro jejíž zvládnutí je nutná dokonalá znalost širokého spektra vědeckých oborů [3]. Patří mezi ně termomechanika, meteorologie, fyzika atmosféry, fyzikální chemie či matematická informatika. Pouze využití znalostí z uvedených oborů může vést k vytvoření návrhu matematického aparátu rozptylového modelu. Řešitelský tým proto čeká velké penzum analytické práce zahrnující zejména studium odborných zdrojů a zpracování teoretického východiska potřebného pro praktickou část výzkumu. Pro tento účel budou studovány jak odborné zdroje, tak i dostupné informace o událostech spojených s úniky látek do ovzduší, které se za reálných podmínek v minulosti

již staly. Čerpáno proto bude z dostupných databází, jako například ARIA [4] nebo materiálů evropské platformy IMPEL [5].

Nedílnou součástí výzkumných aktivit navazující na teoretickou část projektu bude série terénních testů. Ty jsou naplánovány na druhou polovinu doby řešení projektu, kdy již budou řešitelé disponovat dostatkem teoretických podkladů a bude vytvořena také základní verze rozptylového modelu. Testy budou zaměřeny na pozorování časových změn v průběhu rozptylu uměle vytvořeného oblaku těžkého plynu a měření jeho charakteristik (dosahy zraňujících koncentrací, distribuce v prostoru apod.). To umožní prokazatelným způsobem ověřit vliv reálných podmínek na chování oblaku, který bude vytvořen za pomoci referenčního stopovače. Výběr vhodných stopovačů těžších než vzduch představuje zásadní úkol, neboť je potřeba vybrat látku/směs, která bude netoxická, snadno dostupná, použitelná v podmínkách testovacího polygonu, bude moci být bezpečně uvolněna z tlakového zásobníku, bude snadno detekovatelná v ovzduší a také cenově dostupná. Podle předběžné analýzy se jeví jako nejvhodnější varianta použití oxidu uhličitého, jehož detekce je jednoduchá a přístrojů k jeho měření je na trhu široké spektrum. Pro vizualizační experimenty v blízkosti zdroje úniku pak lze použít kapalný dusík, který vytváří těžké kondenzované páry.

Poslední fází řešení bude zpracování všech získaných poznatků a naměřených dat a následné vytvoření beta verze softwarového nástroje DEGAS. Ta bude v další fázi řešení verifikována prostřednictvím srovnávacích simulací vytvořených za využití vhodných software (například ALOHA, EFFECTS, TerEx, COMSOL nebo SAVE).

#### Diskuse

Přesnost dostupných modelovacích softwarů je různá a pro rozhodování uživatele, který nástroj lze za daných podmínek použít, nejsou k dispozici žádné podpůrné informace [1]. Některé programy byly v minulosti vzájemně srovnávány, ale tyto studie představují spíše ukázky jejich dílčí aplikace při odhadu následků navržených havarijních scénářů. Testování validity těchto nástrojů, zvláště pak při okrajových podmínkách, nicméně doposud provedeno nebylo. Proto vznikla potřeba toto téma blíže rozpracovat, popsat procesy rozptylu těžkých plynů v atmosféře a vyvinout nový nástroj vhodný pro rychlé, ale zároveň dostatečně přesné modelování možných nežádoucích úniků látek do atmosféry.

Pro vlastní řešení projektu bylo proto nezbytně nutné vytvořit multidisciplinární řešitelský tým, který by byl schopen takto náročný úkol zvládnout. Požadavky na personální zajištění proto byly vysoké. Spojením kapacit jednotlivých účastníků se nicméně podařilo sestavit kvalitní řešitelský tým složený ze zkušených odborníků, kteří s řešením obdobných projektů již mají bohaté zkušenosti. Složení řešitelského týmu prošlo náročným oponentním posouzením, které v prvním kole prováděli tři nezávislí experti Technologické agentury ČR a v druhém kole pak expertní komise Rady programu EPSILON.

Pro sestavení harmonogramu řešení pak bylo čerpáno ze zkušeností získaných řešením projektu č. 1H-PK2/35 „Ověření modelu šíření a účinků ohrožujících událostí“, který se zaměřoval na podobné výzkumné aktivity. Tento projekt byl taktéž vysoce oceňován účastníky prestižní mezinárodní vědecké konference 27th Annual aerosol conference of the American Association for Aerosol Research v roce 2008 [6], což účastníky projektu „DEGAS“ utvrdilo ve správnosti navržené metodologie řešení.

#### Závěr

Pro účely efektivní havarijní připravenosti je nutné mít znalosti potřebné k odhadu průběhu uvažované havárie, z nichž ty nejhorší bývají nehody spojené s únikem toxických plynů šířících se podél zemského povrchu. Jedním z využitelných prostředků jsou moderní modelovací softwarové nástroje umožňující predikovat šíření

a rozptyl těžkých plynů. Jelikož se ale jedná o drahé komerční produkty, je jejich využívání v praxi spíše ojedinělé. Z tohoto důvodu vznikla potřeba vyvinout nástroj levný, široce dostupný a přitom relativně přesný, který bude možné použít pro uvedené potřeby. Vznikl tedy návrh projektu č. TH01031098 s pracovním názvem „DEGAS“, který uspěl v náročné soutěži první výzvy programu EPSILON vyhlášené Technologickou agenturou ČR v roce 2014. Projekt se vyznačuje tím, že v sobě kombinuje jak oblast modelování a vyhodnocování, tak i vytváření metodik a postupů usnadňujících implementaci požadavků evropské direktivy Seveso do praxe a současně naplnění cílů národní Koncepce ochrany obyvatelstva do roku 2020 s výhledem do roku 2030 [7]. Přidanou hodnotou projektu je aktivní využití synergií spočívajících v personálních kapacitách a know-how kooperujících řešitelských organizací na straně jedné a existujících ověřených postupů a dostupného teoretického backgroundu na straně druhé. Díky tomu projekt posiluje intenzivní a účinnou spolupráci mezi výzkumnými organizacemi a privátní sférou, což vytváří dobré podmínky pro transfer získaných poznatků do podoby komerčně využitelného produktu.

#### Použitá literatura

- [1] Skřehot, P. [et al.]: *Prevence nehod a havárií: 2. díl: mimořádné události a prevence nežádoucích následků*. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, T-Soft, 2009. 510 s. ISBN 978-80-86973-73-8.
- [2] Lees, F. 1996.: *Loss Prevention in the Process Industries*. vol. 1. 2nd. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1996. ISBN 0-7506-1547-8.
- [3] Markiewicz, M. 2006.: *Models and Techniques for Health and Environmental Hazard Assessment and Management*. Warsaw: Warsaw University of Technology, The Faculty of Environmental Engineering, 2006. Mathematical Modelling of the Heavy Gas Dispersion, pp. 280-302.
- [4] ARIA [online]. Lyon: Bureau for Analysis of Industrial Risk and Pollution (BARPI). Dostupný z WWW: <<http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/>>.
- [5] The European Union Network for the Implementation and Enforcement of Environmental Law (IMPEL).
- [6] Skřehot, P.: Mezinárodní konference AAAR 27th Annual Conference. *Časopis výzkumu a aplikací v profesionální bezpečnosti*. 2008, č. 4. Dostupný na www: <<http://www.bozpinfo.cz/josra/josra-04-2008/>>. ISSN 1803-3687.
- [7] *Koncepce ochrany obyvatelstva do roku 2020 s výhledem do roku 2030*. Ministerstvo vnitra - generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky. 2013.