



VYUŽITÍ MODELU VIRTUÁLNÍHO ZDROJE PŘI MODELOVÁNÍ ÚNIKU TĚŽKÉHO PLYNU

USE OF A VIRTUAL SOURCE MODEL IN DENSE GAS DISPERSION MODELING

MAREK, J. & SKŘEHOT, P.A.

Abstrakt:

Problematika rozptylu šíření těžkých plynů je značně obširná. Problém tkví zejména v predikci dosahu zranitelných koncentrací v místě zájmu (oblast s výskytem osob). Výpočtové a modelovací SW nástroje sice umožňují odhadnout velikost koncentrace unikajícího plynu v určité vzdálenosti od zdroje, avšak tyto výsledky jsou zpravidla nadhodnocené. Tato skutečnost poté může vyvolávat potřebu použití neúměrných sil a prostředků v rámci řešení havárie (např. provádění evakuace osob ve vzdálené oblasti od zdroje úniku). V těchto případech je použití modelovacích SW podmíněno přijetím nestandardních přístupů. Jedním z takovýchto přístupů může být použití tzv. modelu virtuálního zdroje.

Abstract:

The problem of dispersion of the spread of heavy gases is quite extensive. The problem lies mainly in predicting the range of vulnerable concentrations in the place of interest (area with the presence of people). Calculation and modeling SW tools make it possible to estimate the concentration of escaping gas at a certain distance from the source, but these results are usually overestimated. This fact may then lead to the need to use disproportionate forces and resources as part of solving the accident (e.g. carrying out the evacuation of people in a remote area from the source of the leak). In these cases, the use of modeling software is conditioned by the adoption of non-standard approaches. One such approach can be the use of the so-called virtual resource model.

Klíčová slova:

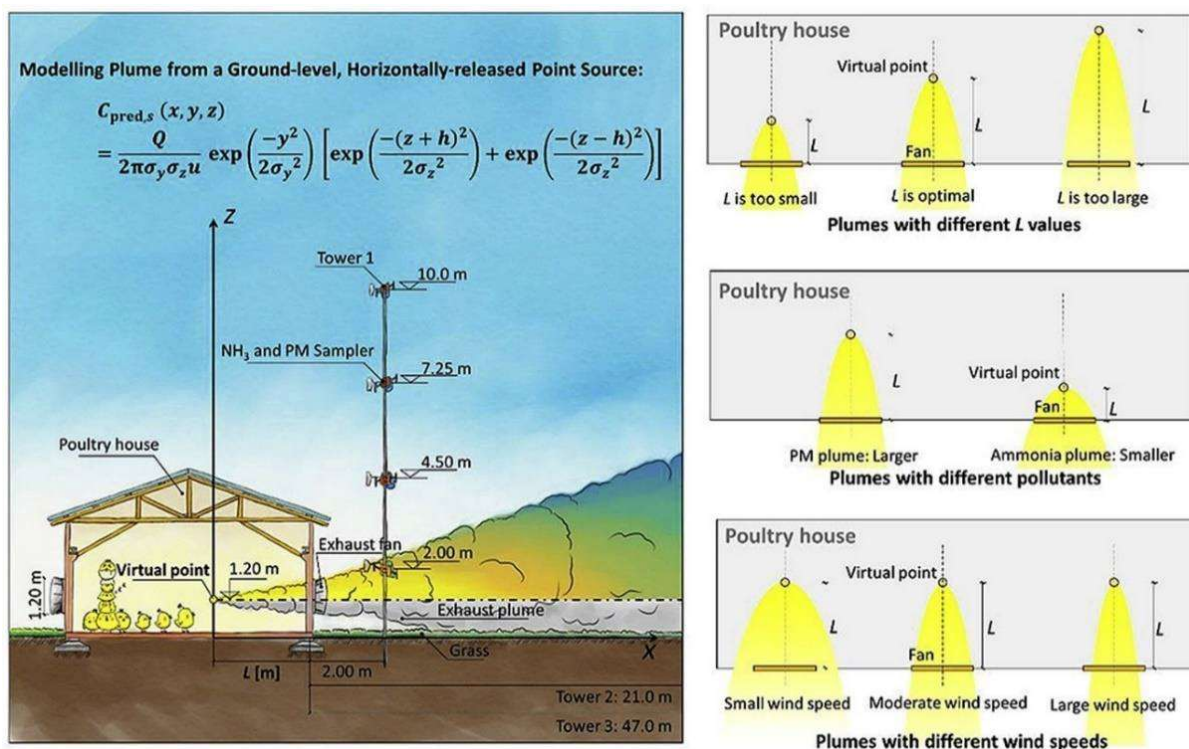
Model virtuálního zdroje; Chlor; Těžký plyn; Počítačové modelování.

Key words:

Virtual resource model; Chlorine; Dense gas; Computer modelling.

Úvod

Model virtuálneho zdroje patrí k novým prístupom používaných pro modelování distribuce hmoty v prostoru. Virtuální zdroj představuje imaginární zdroj emise dané látky, který sice fyzicky neexistuje, ale působí, fyzikálně se chová a navenek se projevuje stejně, jako kdyby se o reálný zdroj jednalo. Použití tohoto modelu se postupně uplatňuje v různých oblastech jakožto nástroj pro zjednodušení jinak náročného fyzikálního modelování časové a prostorové distribuce hmoty nebo energie emitované z plošného nebo objemového zdroje. Jako příklad lze uvést modelování šíření zvuku emitovaného různými zdroji současně ve vymezeném prostoru [1], nebo modelování šíření pachových látek emitovaných z objektů stájového chovu hospodářských zvířat [2] (viz obrázek 1). V oblasti modelování šíření nebezpečných chemických látek při potenciální havárii ale nebyl tento model doposud aplikován. V praxi se lze sice setkat s používáním tzv. CFD simulačních nástrojů, což jsou sofistikované SW nástroje simulující dynamiku (proudění) tekutin, jejich použití je však nejen finančně, ale zejména časově náročné a jejich používání je tak především doménou specializovaných výzkumných pracovišť.

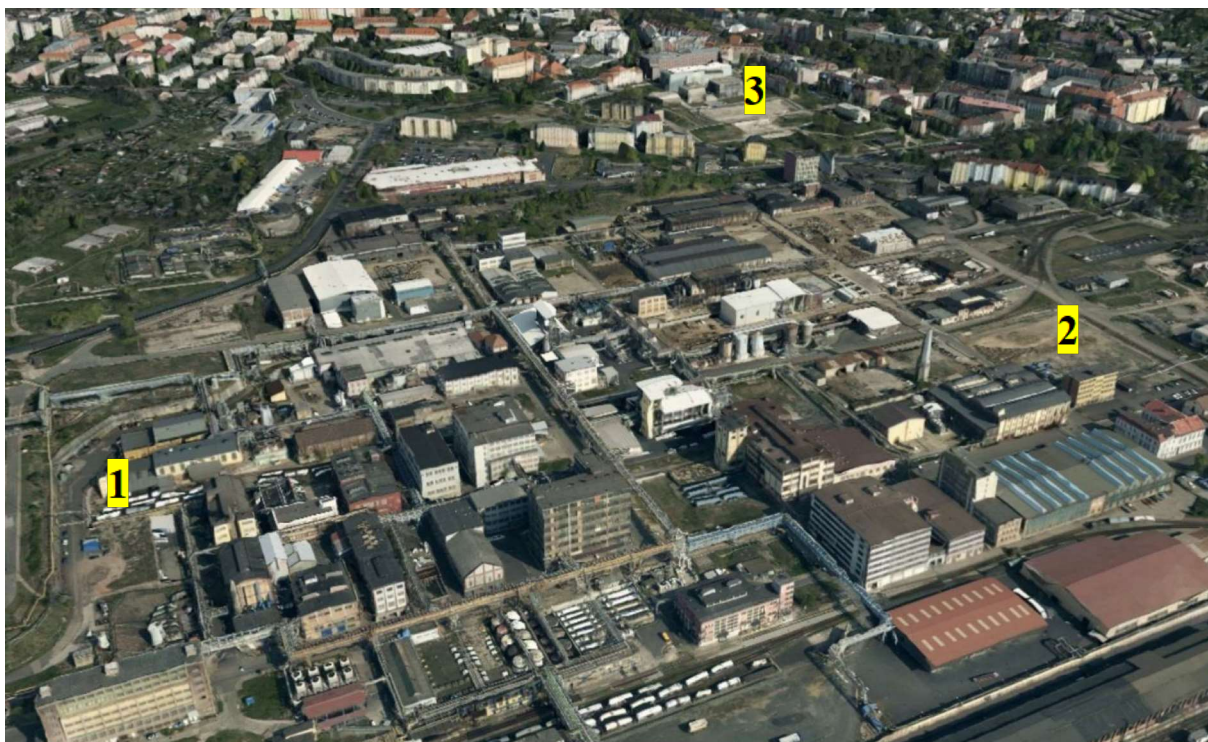


Obr 1: Princíp aplikácie modelu virtuálneho zdroje podľa Yanga a kol. [2]

Autoři článku si kladou za cíl využít principu modelu virtuálního zdroje pro zpřesnění odhadu koncentrace škodlivé látky (konkrétně chloru) v místě s nadměrným výskytem pohybu osob. Pro modelování úniku těžkého plynu (chlor se po úniku ze skladovacího zařízení chová jako těžký plyn) bude použit modelovací software ALOHA. Jako oblast zájmu byla vybrána společnost Spolek pro chemickou a hutní výrobu, a.s. (dále jen společnost), která ve svém areálu skladuje velké množství chloru. Areál společnosti je umístěn v intravilánu města Ústí nad Labem, viz obrázek 2. Zde je z pohledu havarijního plánování nejkritičtějším objektem zájmu kampus Univerzity Jana Evangelisty Purkyně (dále jen kampus UJEP), kde se předpokládá pohyb velkého množství osob (řádově tisíce). Skladování chloru se uskutečňuje ve stacionárních zásobnících (až 65 tun) a dále v odstavených železničních cisternách (až 55 tun). Jako havarijní scénář bude zvolen kontinuální únik veškerého množství chloru (55 tun) z odstavené železniční cisterny. Ty jsou



odstaveny v místě areálu, které se nachází ve výšce 152 m n. m. Nově budovaný areál UJEP se nachází ve výšce 172 m n. m. Převýšení od místa odstavených cisteren k objektu UJEP tak činí 20 metrů. Pro lepší představivost, vzdálenost mezi odstavenými cisternami chloru a areálem UJEP činí vzdušnou čarou 650 metrů; vzdálenost mezi odstavenými cisternami chloru a umístěním virtuálního zdroje činí 450 metrů a nakonec vzdálenost mezi virtuálním zdrojem a areálem UJEP činí vzdušnou čarou 400 metrů. Použitá vstupní data pocházejí z otevřených zdrojů [9, 10].



Obr 2: Celkový pohled na umístění jednotlivých zájmových objektů. [Zdroj: Mapy.cz]

Vysvětlivky k obrázku výše:

- 1 – provoz Chlorové chemie (odstavené železniční cisterny)
- 2 – umístění virtuálního zdroje
- 3 – nově budovaný kampus UJEP

Popis problematiky

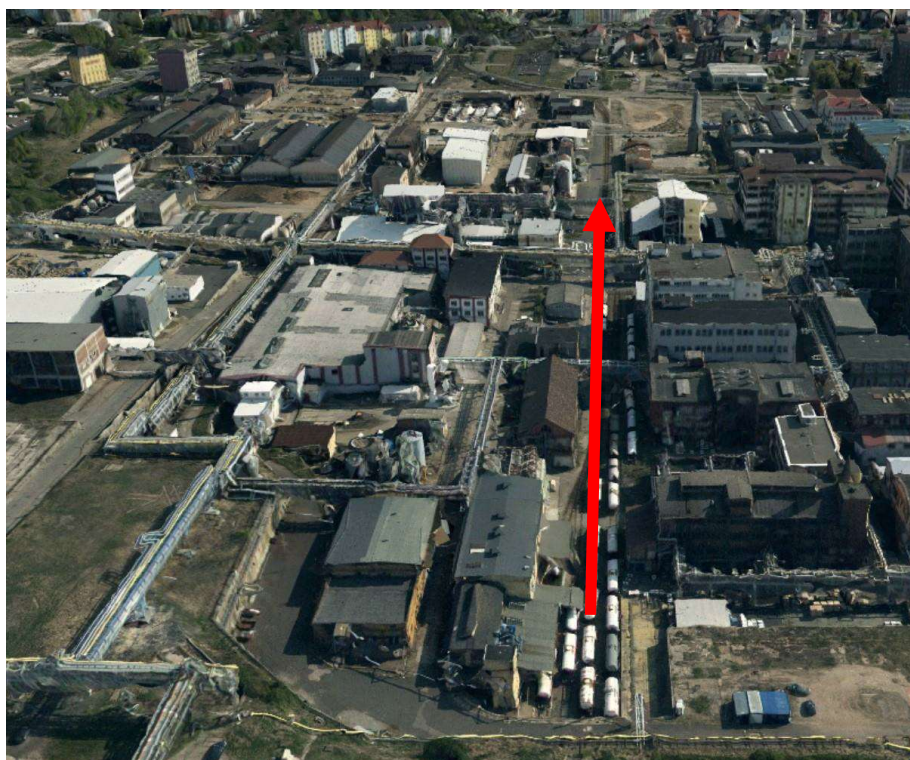
S ohledem na členitost areálu společnosti způsobenou hustou zástavbou různě vysokých objektů a současně s přihlédnutím k topografii terénu, který se svažuje v severojižním směru, není možné pro modelování rozptylu oblaků těžkého plynu (tj. chloru) pro tuto lokalitu použít standardní přístupy založené na prosté aplikaci výpočtových modelů, resp. výsledky získané použitím standardních modelovacích nástrojů budou zatíženy nepřesností spočívající v uvedení nadlimitních hodnot koncentrací unikající nebezpečné chemické látky. Nedostatky standardních modelovacích software tkví zejména v:

- uvažují pouze ideální atmosférické podmínky;
- nezohledňují výškové rozdíly terénu, tj. jeho topografii;
- nezohledňují různorodé tvary a rozměry objektů v prostoru šíření oblaku plynu (domy, vegetace, technologické prvky atd.);
- matematický model (tzv. box model) je založen na premise, že koncentrace plynu je ve vytčeném ohraničeném prostoru vždy stejná (nebere se v potaz naředování krajních oblastí oblaku vzduchem).



Jejich použití je tak v těchto případech nutné podmínit přijetím nestandardizovaných přístupů. Modelování rozptylu unikajícího chloru pomocí dostupných výpočtových a simulačních nástrojů má totiž reálný smysl až od okamžiku, kdy se oblak dostane mimo hustě zastavěnou oblast. Jelikož ale nelze rozptyl takového emisního (plošného) zdroje spolehlivě modelovat standardními nástroji, je nezbytné takovou situaci řešit aproximací. Za tímto účelem lze využít zmíněný model virtuálního zdroje. Teprve až jeho použitím lze smysluplně a s podstatnou mírou spolehlivosti modelovat rozptyl chloru za využití vybraného software. Klíčovým problémem ale je definování parametrů virtuálního zdroje, tj. vstupních a okrajových podmínek. Ty musí nejen věrohodně popisovat ono virtuální zařízení, z něhož chlor hypoteticky uniká, ale také skutečné charakteristiky oblaku chloru, které lze v daném místě rozumně predikovat na základě empirických znalostí o jeho chování.

Způsob chování chloru při jeho úniku ze skladovacího zařízení byl již poměrně detailně popsán v odborných publikacích a z dostupných informací o proběhnuvších reálných experimentech [3, 4, 5]. Unikající chlor po úniku vytvoří hustý kompaktní oblak. Oblak bude velmi chladný, protože při fázovém přechodu z kapalné do plynné formy unikající látka přijímá ze svého okolí teplo odpovídající skupenskému teplu varu. Díky účinku mechanických sil (hybnosti) vzniklých při úniku chloru únikovým otvorem, se bude oblak divoce vířit a bude mít kupovitý vzhled. Díky tomu, že bude mít podstatně vyšší hustotu než okolní vzduch, bude se držet při zemském povrchu. Jelikož se jedná o tekutinu, bude se oblak roztékat do prostoru. Nejprve zaplní nejnižší položená místa a současně se bude velmi rychle šířit do blízkých uliček a volných prostorů mezi okolními objekty. V rámci zamýšleného úkolu se předpokládá šíření oblaku chloru v areálu západním směrem, viz obrázek 3.

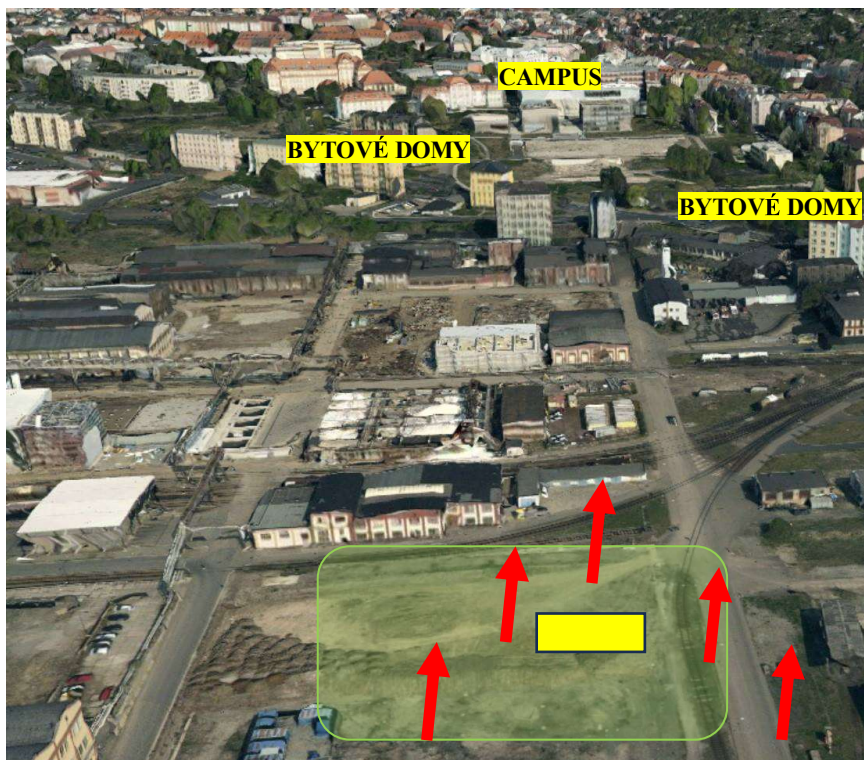


Obr 3: Pohled na odstavené železniční cisterny a zamýšlený prvotní směr šíření oblaku chloru (červená šipka). [Zdroj: Mapy.cz]

Se vzrůstající vzdáleností od místa úniku se budou v oblaku stále více uplatňovat odporové a vazké síly, což zpomalí rychlost jeho tečení. Oblak bude stratifikovat, postupně ztratí pevně ohraničené obrysy a získá vzhled mlžného závoje. Velmi výrazně se bude při této fázi rozptylu



uplatňovat vliv různých překážek, které bude oblak nucen obtékat nebo překonávat. Jakmile hlavní část oblaku dosáhne k volnému prostornosti, ilustrativně vyobrazeno na obrázku 4 (zelená oblast), rozšíří se do prostoru a jeho další postup se prakticky zastaví.



Obr 4: Bližší pohled na umístění virtuálního zdroje (žlutý obdélník) ve volném prostornosti a zamýšlené otočení směru vanutí větru (červené šipky). Oblast nahromaděného oblaku plynu (dotečeného od zdroje úniku) ilustrativně představuje zelená oblast. [Zdroj: Mapy.cz]

V tuto chvíli lze uvažovat, resp. to nelze se stoprocentní jistotou vyloučit, otočení směru vanutí větru jižním směrem, tj. směrem k obydlené oblasti (obytné domy, kampus UJEP), viz obrázek 4. Lze předpokládat, že v místě tohoto volného prostornosti již bude oblak natolik naředěn, že již nebude vizuálně pozorovatelný. Stále ale bude v ovzduší životu nebezpečná koncentrace chloru (řádově tisíce ppm), která se ovšem bude rychle snižovat, jak se bude oblak postupně ředit vstupujícím vzduchem.

Prvním východiskem pro stanovení parametrů virtuálního zdroje je odhad celkové dotace chloru, který bude do vymezeného prostoru přitékat. Výpočtem příspěvků jednotlivých trajektorií toku oblaku chloru napříč komunikačními trasami v inkriminovaném prostoru dostaneme korigované množství chloru z celkového uniklého množství, které může reálně dotéct do prostoru, kde je situován virtuální zdroj. Skutečná dotace virtuálního zdroje ale bude ovlivněna ještě dvěma dalšími faktory, které budou celkové množství přitékajícího chloru snižovat:

- Vertikální depozice chloru na površích obtékaných překážek.
- Úbytek chloru v důsledku skrápění vodní clonou (systém vodního zkrápění instalovaný v areálu společnosti).

Podle odborné literatury má vertikální depozice v případě chloru účinnost cca 30 až 50 % [6], [7] a skrápění 25 až 90 % [8]. Účinnost ale v obou případech ovlivňuje řada faktorů, jako např. členitost terénu, velikost a rozložení překážek, jejich materiálové složení, hustota skrápěného oblaku, velikost kapiček vodní clony, vzdálenost mezi vodními růžicemi, množství rozstříkané vody, rychlost větru apod.). Při konzervativním přístupu můžeme účinnost depozice odhadnout na



30 % a účinnost nainstalovaného skrápčícího systému pro tvorbu vodní clony na 20 %. Při zahrnutí těchto parametrů bude parciální množství chloru, které bude tvořit dotaci virtuálního zdroje, činit cca 27 tun chloru (uvažuje se únik z cisterny s množstvím uskladněného chloru 55 tun).

V programu ALOHA lze poté na základě takto odhadnutého množství chloru a znalosti hmotnostní rychlosti unikajícího chloru stanovit metodou fitování velikost únikového otvoru. Následně lze provést modelaci úniku chloru z virtuálního zásobníku ve směru umístění kampusu UJEP.

Modelování havarijní situace v programu ALOHA bude tedy rozděleno do několika fází:

1. Modelování úniku veškerého skladovaného množství chloru z odstavené železniční cisterny při západním směru vanutí větru, viz obrázek 3 a získání hodnot koncentrace chloru v místě kampusu UJEP.
2. Modelování úniku chloru jako ve fázi 1 do okamžiku dosažení čela oblaku na volné prostranství, viz obrázek 4.
3. Korekce hodnot množství a koncentrace chloru v místě volného prostranství na základě jeho předchozího „tečení“ po areálu společnosti. Korekce bude zahrnovat naředování oblaku vzduchem, umístění a tvary objektů vzhledem k depozici chloru, použití vodní clony, existenci prohlubní, eliminace množství odečteného chloru mimo oblast zájmu apod.
4. Na základě znalosti hmotnostní rychlosti úniku chloru ze železniční cisterny a korigovaného množství chloru v místě volného prostranství bude vytvořen virtuální zdroj coby zásobník s unikajícím chlorem.
5. Modelování úniku veškerého množství chloru z virtuálního zdroje při vanutí jižních větrů (směr kampus UJEP) a získání hodnot koncentrace chloru v místě kampusu.
6. Porovnání dosažených výsledků získaných modelováním dle fáze 1 a dle fáze 5.

Závěr

S ohledem na mnohdy fatální následky havárií, spojených s únikem nebezpečných chemických látek, na lidských životech je potřeba neustále prověřovat úroveň zavedených opatření v průmyslových podnicích. V oblasti prevence závažných havárií je modelování úniku nebezpečné chemické látky jedním z klíčových prvků systému opatření vedoucí k jejich eliminaci, resp. snížení následků havárie na co nejmenší úroveň. Model virtuálního zdroje může, resp. dle odborné literatury (např. [2]) pomáhat zpřesnit predikci koncentrace látky v požadované vzdálenosti od zdroje úniku.

Jelikož je uvedená problematika součástí tématu disertační práce hlavního autora tohoto příspěvku, bude i nadále pokračovat výzkum směřující k navržení postupu pro aplikaci modelu virtuálního zdroje v rámci prováděného počítačového modelování rozptylu oblaku těžkého plynu vznikajícího při úniku nebezpečné látky ze stacionárního zařízení.

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".