

VÝSLEDKY VÝZKUMNÉHO ÚKOLU Č. 1H-PK2/35 „OVĚŘENÍ ÚČINKŮ OHROŽUJÍCÍCH UDÁLOSTÍ - SPREAD“ A JEHO VYUŽITÍ PRO MODELOVÁNÍ HAVARIJNÍCH SITUACÍ A TERORISTICKÝCH ÚTOKŮ

Michaela Havlová*

ABSTRAKT

Výzkumný projekt 1H-PK2/35 „Ověření modelu šíření a účinků ohrožujících událostí“, pracovně označovaný jako SPREAD, měl za cíl ověřit model šíření prachových částic, resp. aerosolů, jako nosičů toxických, radioaktivních či biologických informací. Většina modelovacích SW pracuje převážně s haváriemi, našim cílem však bylo vytvořit matematický model následků teroristického útoku tzv. „špinavou bombou“. Unikátní součástí tohoto projektu bylo ověření modelu pomocí praktických terénních testů, kterými je výsledný matematický model upřesňován.

Výše uvedený výzkumný projekt byl spolufinancován Ministerstvem průmyslu a obchodu ČR. Na pětiletém výzkumném úkolu vývoje modulu SPREAD se podíleli tyto společnosti: T – SOFT a.s., Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v.v.i., ISATech, s.r.o. a Spolek pro chemickou a hutní výrobu, a.s. Dalšími spolupracujícími organizacemi byly např.: Český hydrometeorologický ústav, Ústav termomechaniky Akademie věd ČR, Univerzita obrany v Brně a 31. brigáda radiální, chemické a biologické ochrany v Liberci.

Klíčové slová: TerEx, modelování, terorismus, aerosol, terénní testy, software, havarijní dosahy, havárie, únik látek, technologie, ochrana životního prostředí, verifikace modelu, validace modelu, CBRN.

ABSTRACT

Nowadays, the inhabitants and environment can be endangered by dangerous substance not only when they escape from processing and manufacturing facilities, but also in case of a terrorist attack. To be able to provide credible numerical models of the events, it is necessary to develop and verify a relevant model of spread and impacts. Although there is a wide range of software tools already available, very few of them are capable of modelling the spread of aerosol clouds. However, no high-

* Michaela Havlová, Ing., T-SOFT a.s., Novodvorská 1010/14, 142 01 Praha 4, tel. +420 261 710 561, fax. +420 261 710 563, havlova@tsoft.cz

quality model can do without being tested and verified in real conditions. For this reason it is necessary to carry out field tests under pre-defined conditions and using the latest detection methods, and to evaluate the measured data in order to gain information necessary for the improvement of the model and specification of boundary conditions for its future use. In the Czech Republic this issue is covered by the project of “1H-PK2/35: Verification of the model of spread and impacts of life-threatening events” carried out by T – SOFT Company, Occupational Safety Research Institute, ISATech and Spolchemie.

Key words: TerEx, terrorism, aerosol, software, modelling, disaster reaches, disaster, substance outflow, technology, environment prevention, model verification, model validation, CBRN.

1 KROK ZA KROKEM PROJEKTU SPREAD

Výzkumný projekt 1H-PK2/35 „Ověření modelu šíření a účinků ohrožujících událostí“, pracovně označovaný jako SPREAD, měl za cíl ověřit model šíření prachových částic, resp. aerosolů, jako nosičů toxických, radioaktivních či biologických informací. Většina modelovacích SW pracuje převážně s haváriemi, našim cílem však bylo vytvořit matematický model následků teroristického útoku tzv. „špinavou bombou“. Unikátní součástí tohoto projektu bylo ověření modelu pomocí praktických terénních testů, kterými je výsledný matematický model upřesňován.

Úvodní rok projektu byl věnován analýzám současného stavu, sestavení systému a analýze modelových situací. Na počátku projektu bylo potřeba nastavit cíle, určit terminologii a směr řešení. Jako podklad pro teoretické úvahy a zejména rozšíření možností modelu byla použita etapa „Sběr dat z průběhu havarijních situací“. Jejím cílem bylo získat data o nebezpečných situacích a haváriích, které se v minulosti staly. Požadované informace byly získávány formou dotazníků v rámci zápůjčky programu TerEx na různých úrovních Hasičského a záchranného sboru Slovenské republiky.

Nejvýznamnější částí počátku řešení bylo vytvoření optimálního matematického aparátu popisujícího šíření aerosolů v atmosféře. V rámci této etapy probíhala rozsáhlá literární rešerše s cílem pochopit mechanismy determinující chování aerosolů v reálné atmosféře s přihlédnutím k jejich vlastnostem. Tato problematika byla dále konzultována s interními i externími odborníky na problematiku aerosolů. Díky těmto konzultacím bylo zjištěno, že k popisu šíření aerosolů lze přistoupit zcela obecně s využitím aparátu fluidní dynamiky, nebo lze upravit difúzní modely popisující chování plyných látek v atmosféře.

Metody fluidní dynamiky, jakkoliv přesně jsou schopny popsat pohyby tekutin, jsou pro účely rychlého hodnocení dopadů následků úniků atmosférických aerosolů naprosto nevhodné. Další komplikací při šíření atmosférických aerosolů je jejich sedimentace účinkem gravitační síly Země. Sedimentaci částic v prostředí lze sice přesně kvantifikovat, avšak implementace pomocí rychlosti sedimentace, není pro účely dynamického modelování v reálné atmosféře zcela triviální. Předchozí analýzy však naštěstí ukázaly, že nejnebezpečnější aerosolovou frakcí je tzv. respirabilní

frakce, tedy taková, u které se v důsledku velmi malé velikosti částic (do 10 mikrometrů) sedimentace v relativně krátkých časech neprojeví a lze ji tedy v matematickém popisu zanedbat. Výsledkem všech výše uvedených úvah bylo tedy vytvoření takového matematického modelu, který je založen na obecně platném modelu pasivní disperze látek v atmosféře. Protože má model simulovat účinky po výbuchu špinavé pumy, byl jako typ úniku zvolen jednorázový únik resp. jednorázová emise. Jako nejvhodnější model pro naše účely byl nakonec vybrán jednoduchý gaussovský model pro pasivní disperze. Tento model byl na základě výsledků z terénních testů modifikován prostřednictvím funkčních vztahů pro σ_x a σ_z pro reálnou (míchanou) atmosféru a jeho validita byla navržena a následně i ověřena pro vzdálenosti cca do 5 km od epicentra emise. Použití jednoduchého gaussovského modelu se tak ukázalo jako výhodné nejen z hlediska jeho relativně snadné modifikace na požadované okrajové podmínky, ale také z hlediska jeho provázání s klasifikací atmosférické stability, kterou navrhl Pasquill, a která je založena na parametrech snadno odhadnutelných i laikem.

Na tuto etapu navazoval Návrh softwarového řešení, který měl za úkol převedení vztahů matematického modelu do programovacího jazyka Visual Basic. Předtím byly vztahy kvalitativně analyzovány v programu MS Excel. Ani převádění vztahů do numerických výstupů nebylo bez potíží. Stávalo se, že výpočetní vztahy nebylo možno použít v tom rozsahu argumentů, které uvádí literatura, neboť docházelo k nepřipustným matematickým operacím. Systematická analýza vztahů odhalila jednak tiskové chyby v publikacích, ze kterých bylo čerpáno, jednak upravila obor platnosti matematických vztahů zejména pro okrajové a mezní hodnoty. Výsledkem etapy bylo sestavení nového modulu šíření respirabilních částic (nové verze programu TerEx). Při tvorbě modelu byl dán důraz na minimální počet vstupních parametrů, jak je ve shodě s filozofií SW TerEx. Program realizuje řadu dílčích výpočtů a mezivýpočtů sám, aniž by to narušovalo uživatelské prostředí nebo kladlo další nároky na uživatele. Nová verze rovněž obsahuje rozšířenou databázi nebezpečných chemických látek včetně údajů o látkách. Potřebné charakteristiky jsou shromažďovány z databázových zdrojů (částečně placených) a pravidelně implementovány do databáze nebezpečných látek programu TerEx.

Ověření správnosti navrženého matematického aparátu bylo provedeno prostřednictvím několika sérií terénních testů. V roce 2006 byla realizována etapa projektu s názvem Příprava technického zabezpečení testů. Tato etapa měla za úkol ověřit navrženou metodiku pro provádění terénních testů plánovaných na rok 2007. V rámci této etapy se také ověřovaly všechny technické a materiální prostředky a také schopnost týmu řešit aktuální problémy a mimořádné situace. Smyslem bylo také prověřit vhodnost navrženého způsobu pro vyhodnocování naměřených dat. Na základě doporučení byla pro tento druh testů vybrána lokalita vojenského prostoru chemického vojska v Tisé u Děčína. Na realizaci testů se materiálně i technicky podílela i 31. brigáda chemické biologické a radiační ochrany, což byla pro všechny účastníky dobrá praktická zkušenost. Vlastní testy pak byly prováděny tak, že oxid křemičitý ve formě velmi jemného prachu (částice o velikosti menší než 10 mikronů a $CMD = 0,98 \text{ m}$) byl uveden výbuchem do vznosu a dále se šířil pouze účinkem atmosférického proudění.

Při volbě vhodného typu prachu jsme hledali takové prachové částice, které lze snadno získat v požadované respirabilní frakci, které nepředstavují hygienické riziko a které by bylo možno snadno detekovat. Ukázalo se, že těmto nárokům a to i z hlediska chování směsi při výbuchu vyhovuje nejlépe křemenný písek o vhodné velikosti zrna, popř. jemně mletý grafit. Grafit se skládal ze zrn o velikosti 2,5 – 5 μm a křemenný písek obsahoval převážně frakci o velikosti 0,5 – 15 μm . V průběhu terénních testů se grafitový prach nakonec nepoužil.

Dalším náročným úkolem byl výběr vhodného typu náložky. Názory z řad pyrotechniků i odborníků na výbušiny se lišily jak co do druhu použité explozivní náložky, tak do geometrie rozmístění náložky a zásobníku s prachem v boxu. Nakonec bylo zvoleno uspořádání, kdy přímo na zemský povrch (tedy bez použití betonové nebo litinové podložky) byl umístěn lepenkový box s křemenným prachem, pod kterou byla umístěna náložka. Pro uvedení prachové disperze do vznosu byla použita pyrotechnická slož.

Vhodné místo pro umístění náložky (tedy zdroje prachové disperze) bylo určeno na základě důkladné analýzy dostupných informací vycházejících z detailního rozboru situace na polygonu (tedy lokálních meteorologických podmínek, zohlednění prvků, které mohou ovlivnit charakter proudění v lokalitě, geografickým dispozicím terénu, orografickým prvkům a očekávaným vývojem počasí). Průběh větru během testů byl monitorován pomocí přenosných meteorologických stanic a měřicího detekčního vozu Armády ČR tak, aby bylo proměřeno směrové a rychlostní pole větru na referenčních bodech testovacího polygonu. Dislokaci předcházela důkladná analýza terénu, načež bylo na základě odborné diskuse rozhodnuto o vytvoření sítě tzv. referenčních bodů, na kterých budou zmíněná měřicí a monitorovací zařízení rozmístěna.

Průběh tvorby a šíření oblaku byl monitorován pomocí několika videokamer jedné umístěné za místem výbuchu ve směru větru a zbylých umístěných ve směru kolmém (viz schéma detekční sítě). Odběry vzorků byly uskutečněny ve výšce 1,7 metru, což je výška, v níž je průměrně vysoký stojící člověk vystaven největšímu riziku expozice prachu inhalační cestou. Vzorky byly odebírány pomocí pasivních detektorů, které sestávaly z plastových krabiček s grafitovým terčíkem o ploše 1 cm^2 opatřený lepící vrstvou, na které se částice po impaktaci deponovaly. Detektory byly sběrnou plochou orientovány ve vertikálním směru a kolmo na směr větru, čímž bylo docíleno maximální účinnosti impaktace. Po expozici byly detektory uzavřeny víčkem, takže bylo možné téměř zcela vyloučit znečištění detektoru částicemi pocházejícími z jiných zdrojů. Dobu expozice však bylo nutné určit empiricky na základě předběžných zkoušek. Terčíky pro odběr vzorků byly rozmístěny po celé ploše polygonu v definované geometrii sestávající ze soustředných kruhových výsečí. Celkem bylo rozmístěno 50 terčů a to v zónách ve vzdálenostech 10 m, 20 m, 30 m, 40 m, 50 m, 80 m, 110 m a 150 metrů od epicentra.

Z průběhu a vyhodnocení terénních testů vyplynulo, že vybraná lokalita vojenského polygonu na Tisé nevyhovuje jednak z hlediska topografického (svažité terén, vliv vegetace na vznik turbulentních vírů), geometrického (nedostatečné rozměry polygonu) a meteorologického (silný nárazový vítr, déšť převažující v dané lokalitě vlivem orografie regionu). Z důvodu odstranění výše uvedených nedostatků, byla pro další terénní testy vybrána jiná lokalita, která by měla lépe vyhovovat

z hlediska homogenity proudění. Ukázalo se rovněž, že navržený způsob záchytu a detekce prachových částic se osvědčil.

Třetí rok projektu SPREAD byl věnován ověření matematického modelu pomocí terénních testů. Nejvýznamnější a organizačně i personálně nejnáročnější částí tohoto roku projektu bylo provedení terénních testů, které slouží k validaci matematického modelu. Tyto terénní testy probíhaly v různých ročních obdobích, tak aby byl model prověřen jak v typicky jarním, tak typicky letním a podzimním počasí. Meteorologické podmínky totiž velmi výrazně ovlivňují šíření částic v atmosféře. Bohužel však právě povětrnostní podmínky výrazně ovlivňují samotný průběh testů a limitují i jejich úspěšnost. Před každou sérií testů byla provedena porada se zástupci ČHMÚ pracoviště v Ústí nad Labem, na základě které byl vybrán termín uskutečnění dané série testů. Během testů samotných byla pak každý den prováděna analýza povětrnostních map (synoptické mapy, srážkové mapy, větrné pole, teplotní pole), kterou prováděli pracovníci VÚBP ve spolupráci s experty z ČHMÚ. Před každým testem byla pak ještě analyzována aktuální povětrnostní situace in situ za pomoci větrných faborů dislokovaných v předem určené geometrii po celé ploše polygonu (letišť). V okamžiku, kdy bylo větrné pole na minimálně 75% sledované plochy ustálené, byl vydán pokyn k odpálení náložky. Po odpálení byl postup oblaku sledován jak vizuálně, tak především systémem videokamer rozmístěných v předem stanovené geometrii umožňující při následném vyhodnocení určit horizontální průmět dráhy postupu oblaku a také rozměry oblaku v horizontálním a vertikálním směru a v čase. Tyto údaje byly využity jako vstupní data do matematického modelu, jehož výstupy byly následně konfrontovány s kontinuálním měřením prováděným pomocí několika automatických laserových fotometrů DustTrak 8250. Výsledky získané pokusy jsou i dle zástupců GR HZS a Armády ČR velmi zajímavé vzhledem k tomu, že se jedná o unikátní práci. Žádný z dostupných modelovacích software totiž nebyl ověřován v praxi a za obdobných podmínek.

Rok 2008 byl čtvrtým rokem řešení projektu. V tomto období byla vyhodnocována data získaná při terénních testech v roce 2007 a výsledky byly zapracovávány do matematického modelu, čímž došlo k jeho upřesnění. Vzhledem k navrženému matematickému modelu bylo nutné rozšířit projekt o další sérii testů v terénu, která umožnila zjistit hmotnostní bilanci spadu, tj. materiálu, který se neúčastní rozptylu. Stanovení spadu bylo provedeno pro podmínky odpovídající vybraným testům provedených v roce 2007 a samotný sběr byl proveden do vzdálenosti do 50 metrů od epicentra výbuchu. Poznatky, které tyto testy přinesly, se ukázaly jako klíčové, zejména s ohledem na hodnoty veličin vstupujících do matematického modelu (konkrétně množství látky účastnící se rozptylu vyjádřené v procentuální zastoupení z původní náložky). Celkem bylo provedeno 7 testů, které byly provedeny za podmínek odpovídajících vybraným testům provedených v roce 2007 (které byly hodnoceny jako úspěšné). Principem stanovení spadu bylo využití vyšší sedimentační rychlosti agregovaných částic, jejichž shluky vznikly během výbuchu a dále částic, které sedimentovaly vlivem povětrnostních podmínek a tření oblaku o zemský povrch během fáze jeho růstu. Použitá metoda pro stanovení hmotnostní bilance spadu spočívala v záchytu uvedených částic na standardizované

disky frisbee, jejichž parametry s hlediska mikrodynamiky proudění vzduchu okolo nich jsou dobře známy z odborné literatury. Význam tohoto měření podtrhuje i fakt, že podle informací z odborné literatury, nebylo na světě doposud podobné měření v takovém rozsahu prováděno.

V průběhu roku 2008 byly výsledky projektu prezentovány na několika mezinárodních konferencích. Jednou z nich byla AAAR 27th Annual Conference konaná v Orlandu (USA). Na této konferenci byla navázána spolupráce se zahraničními institucemi (např. U.S. Environmental Protection Agency, Lawrence Livermore National Laboratory či Clarkson University in New York) za účelem sdílení dat z terénních testů a získání poznatků od zahraničních kolegů.

Rok 2009 byl posledním rokem řešení projektu, v rámci něhož bylo naplánováno provedení série posledních doplňujících terénních experimentů. Ty byly zaměřeny na prověření šíření oblaku aerosolu za okrajových povětrnostních podmínek, zejména pak při zvýšené relativní vlhkosti vzduchu a při dešti. Požadavek na tyto experimenty vznikl na základě diskuzí uskutečněných na 27th Annual Conference American Association for Aerosol Research v Orlandu. Pro rok 2009 byly dle přesně definované charakteristiky počasí naplánovány testy na první týden v dubnu.

V rámci projektu byla vydána dvoudílná odborná monografie, která měla za cíl shrnout nejen výsledky projektu, ale poskytnout také ucelený soubor informací z oblasti prevence nehod a havárií, a to jak z pohledu využívání chemických látek a materiálů, tak i z hlediska jejich možného zneužití pro teroristické útoky. Monografie je unikátním souborem dat, která projektový tým shromáždil v průběhu celého 5-ti letého řešení projektu. Obsahuje i část mimo jiné věnující se problematice šíření aerosolu, která se ukázala v průběhu řešení projektu jako zásadní. Kniha je uspořádána do dvou dílů, které na sebe navazují. První díl obsahuje informace o nebezpečných látkách a materiálech; druhý díl je pak zaměřen na mimořádné události a prevenci jejich nežádoucích následků. Tuto monografii lze dle odborného ohlasu doporučit jak pro vysokoškolské vzdělávání, tak i pro širokou odbornou veřejnost.

Velkou přidanou hodnotou projektu SPREAD je i transfer poznatků získaných při jeho řešení do výuky na vysokých školách. V průběhu jeho řešení byly zakomponovány získané skutečnosti do předmětu Prevence havárií a nehod vyučovaného na Fakultě bezpečnostního inženýrství Vysoké školy báňské-Technické univerzity Ostrava a do předmětu Modelování krizových situací vyučovaného na Fakultě Aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně.

Článek recenzoval:
Ing. Tomáš Loveček, PhD.