

## Využitie modelovania a simulácie v problematike hodnotenia dopadov mimoriadnych udalostí

Padúchová Alena · Informačné technológie

12.10.2012



Problematika narastajúceho počtu mimoriadnych udalostí je v súčasnosti veľmi aktuálna z dôvodu modernizácie priemyselnej výroby a neustáleho pokroku techniky ako dôsledok neustále sa zvyšujúcich požiadaviek na výrobu. Dopady týchto mimoriadnych udalostí sú často fatálne. Z toho dôvodu je nevyhnutná prevencia a pripravenosť v tejto oblasti. Je veľmi dôležité vedieť správne identifikovať riziko a následne predvídať jeho následky. V súčasnej dobe existuje niekoľko metód analýzy rizík.

V praxi prinášajú široké kombinačné možnosti a zvyšujú tak relevanciu ich výsledkov, čím prispievajú k efektívnosti plánov na prevenciu vzniku mimoriadnych udalostí. Na základe vykonanej kvalitnej analýzy problému je možné využiť vytváranie modelov a simulácií, kde po etape modelovania prichádza etapa simulácie. V súvislosti s mimoriadnymi udalosťami sú tieto aspekty chápané ako prostriedky prevencie. Softwarová podpora v kontexte s mimoriadnymi udalosťami je v súčasnej dobe na pomerne vysokej úrovni. Pre účely simulácie bol zvolený dostupný simulačný nástroj TerEx, ktorého databáza umožňuje simuláciu úniku látok reálne sa nachádzajúcich v podniku v relatívne vysokých množstvách, ktoré sa tak stávajú potenciálnym zdrojom možného rizika.

### 1. Princípy modelovania a simulácie v kontexte s mimoriadnymi udalosťami

Vo všeobecnosti je prakticky nemožné vytvoriť presný popis reálneho sveta so všetkými jeho zložitými vnútornými väzbami a tiež s okolitými vonkajšími vplyvmi, ktoré môžeme len veľmi ťažko predvídať. Preto jedinou možnosťou štúdia týchto zložitých systémov je použitie ich zjednodušených modelov s následnou simuláciou, toto ale netreba chápať ako štúdium so zníženou kvalitou.

#### 1.1 Všeobecné princípy modelovania

Model môžeme chápať ako zjednodušený obraz skutočnosti, kde musíme niektoré stránky zovšeobecniť, aby sme tento model mohli vytvoriť. Pri samotnej tvorbe modelu je potreba jednoznačná definícia problému a zameranie sa na tieto oblasti:

- formulácia cieľa ktorého chceme dosiahnuť,
- vymedzenie postupov ako tento cieľ chceme dosiahnuť,
- výber hlavných faktorov ktoré pôsobia na riešenie problému,

- určenie obmedzujúcich podmienok, v rámci ktorých sa toto riešenie bude pohybovať.

Modelovaním teda rozumieme zostavovanie modelu. Záverečnými fázami je samotný výskum a prenesenie poznatkov získaných modelovaním na reálny objekt. Dôležitou funkciou modelovania je preto i funkcia poznávacía a verifikačná, ktorej úlohou je overenie získaných poznatkov na modeli. Samotná konštrukcia modelu je potom zložitý proces pozostávajúci z mnohých etáp.

## 1.2 Modelovanie v kontexte s mimoriadnymi udalosťami

V súvislosti s hodnotením pôsobenia MU a ich dopadov je možné tieto modely rozdeliť na dopady na:

- osoby, hospodárske zvieratá, na okolité životné prostredie,
- sociálne- ekonomické dopady

Z hľadiska dôležitosti je samozrejme hlavnou prioritou prvá kategória, kde sa jedná hlavne o životy a zdravie zamestnancov v postihnutých podnikoch a o obyvateľstvo v jeho okolí, kedy v dôsledku takýchto udalostí môže dôjsť k veľkému počtu mŕtvych a zranených. Pre dôkladné stanovenie dopadov v oblasti priemyselných havárií sú využívané aj tieto modelovacie prístupy: - modelovanie únikov a rozptylov, modelovanie požiarov a výbuchov, modelovanie výtokov, modelovanie vyparovania, modelovanie expozícií, modelovanie účinkov tlaku pri výbuchu mraku pár a iné. [1] [2]

## 1.3 Simulácia v kontexte s mimoriadnymi udalosťami

Simulácia je výskumná technika, kde základom je náhrada skúmaného dynamického systému jeho simulátorom. S týmto simulátorom sa experimentuje s cieľom získať informácie o pôvodnom dynamickom systéme. V súvislosti s mimoriadnymi udalosťami je simulácia používaná ako prostriedok prevencie týchto udalostí, kedy po etape modelovania nasleduje proces simulácie. V súvislosti s ďalším zameraním práce sa v tejto časti budem bližšie venovať simulácii mimoriadnych udalostí v súvislosti s priemyselnou výrobou. V oblasti priemyselnej výroby je potrebné použitie veľkého množstva látok, ktoré sa ale môžu stať potenciálnym zdrojom havárie, napríklad explózie. Možnosťou, ako skúmať explózie je ich modelovanie a simulácia. Základné typy je možné rozdeliť do skupín nasledovne:

1. nomogramy,
2. aplikácie analogicky odvodených zjednodušených teoretických modelov,
3. počítačové simulácie,
4. simulácie výbuchu v reálnych podmienkach podľa vopred stanovených postupov.

Spracované výpočtové modely explózií najznámejších software (napr. ALOHA, EFFECTS PLUS a TEREK, ktorým sa budem venovať v ďalšej kapitole článku) umožňujú množstvo vstupných aplikácií než predchádzajúce metódy. Pri vyhodnocovaní ponúka tiež použitie rôznych klasifikačných a hodnotiacich kritérií pre hodnotenie dopadov na zdravie a životy ľudí. Aplikácie je možné využiť k posúdeniu možných strát na majetku a životnom prostredí, čo môže byť prínosom pre prevádzkovateľa takého zariadenia. [1] [2]

## 2. Softwarová podpora modelovania a simulácie

Na nasledujúcom obrázku je znázornená softwarová podpora krízového managementu komplexne.



Obr. 1. Softwarová podpora modelovania a simulácie

### 2.1 Nástroje pre modelovanie

Medzi najznámejšie nástroje softwarovej podpory modelovania patria:

#### 2.1.1 Aloha

Je 2D simulačný software, vyvinutý americkou agentúrou U.S. EPA a je zdarma sťahateľný na Internete, určený pre modelovanie približného tvaru a rozsahu úniku nebezpečnej látky do atmosféry. Je v anglickom jazyku, ale užívateľsky jednoduchý. Program dokáže určiť veľkosť oblasti ohrozenej výbuchom alebo horením horľavej látky. Obsahuje databázu niekoľko stoviek chemických látok používaných v priemysle. Grafické výstupy sú tvorené 1 až 3 zónami, kde si užívateľ môže zadať vlastné hodnoty, alebo použiť predefinované hodnoty neškodnej koncentrácie. Program vopred počíta s určitými nepresnosťami, zóny majú informatívny charakter, nauvažujú sa nerovnosti reliéfu. [3]

#### 2.1.2 Effects

Program umožňujúci odhadnutie fyzikálnych efektov neočakávaných únikov toxických a horľavých chemických látok. Program pozostáva z modulov umožňujúcich modelovanie jednotlivých havarijných situácií. EFFECTS je určený pre vykonávanie výpočtov určených pre odhad havarijných následkov pre účely havarijného modelovania, medzi ktoré patria napríklad dosahy nebezpečných koncentrácií toxických plynov, úroveň tepelnej radiácie, pretlak na čele tlakovej vlny vzniknutej pri explózii atd. Výsledky sú generované v textovom alebo grafickom formáte. [4]

#### 2.1.3 NBC- Analysis

Je komerčný operačný systém používaný pri obrane proti zbraniam hromadného ničenia pre predvídanie nebezpečenstva, varovanie a hlásenie o následkoch nukleárnych, biologických a chemických incidentov. Je určený pre armádu, inštitúcie zodpovedné za núdzové plány, tiež pre organizácie zaoberajúce sa ochranou životného prostredia a ďalšími službami v prípadoch ohrozenia. Software je uznávaný expertmi

NATO ako špičková automatizovaná aplikácia. Bol úspešne použitý vo vojne v Perzskom zálive. Dnes je používaný väčšinou členských štátov NATO a veliteľstvom NATO a tiež štátmi zapojenými v programe Partnerstvo pre mierový program. [4]

#### 2.1.4 Rozex Alarm

Softwarový nástroj obsahujúci rozsiahlu databázu približne 10 000 látok a vlastný numerický program ROZEX 2003. Program je určený podnikateľským subjektom, orgánom štátnej správy, ale i zásahovými zložkami, ktoré sa bezprostredne podieľajú na likvidácii havárie spojenej s únikom nebezpečnej chemickej látky, ponúka 19 variant havarijných scenárov spojených s jednorazovým alebo kontinuálnym únikom látok zo zariadení s následkom požiaru, výbuchu alebo rozptylu toxického látky v atmosfére. Získané výsledky možno následne vyexportovať do mapových podkladov systému GIS. [4]

#### 2.1.5 Vlna

Program pre výpočet prielomových vln vzniknutých v dôsledku povodne. Jadrom je matematický model, ktorý stanoví výšku čela tejto záplavovej vlny. Výsledky model poskytuje vo forme číselných hodnôt a v grafickej podobe.

#### 2.1.6 Terex - Teroristický expert

Nástroj pre okamžité vyhodnotenie dopadov úniku nebezpečnej chemickej látky, otravnej látky alebo výbušného systému, využívaný podnikmi, inštitúciami, samosprávnymi a štátnymi orgánmi IZS. Prináša výsledky aj s minimom dát. Tento nástroj je ideálny pre rýchle rozhodovanie v strese. Software prináša jednoduchý, rýchly a ľahko pochopiteľný výstup, je vhodný pre plánovanie, výpočty prvotných odhadov, je používaný pre potreby výuky a cvičení. Dokáže kombinovať odhady následkov priemyselných havárií a výbuchov a taktiež následkov pôsobenia otravných látok a zbraní hromadného ničenia. [18] Splňuje normy NATO pre systémy predávania správ vo formáte ADatP-3. Ponúka tiež výstup v textovom formáte, alebo vo formáte CAP (Common Allert Protocol).

#### *Nebezpečné chemické látky*

Program obsahuje databázu vyše 120 látok plus ďalšie rozšírenie databázy, popisy látok, prvú pomoc a tiež zraňujúce prejavy.

- Modely typu TOXI - vyhodnocuje dosah a tvar oblaku pri zadaní koncentrácie látky.
- Modely typu UVCE - vyhodnocuje dosah vzdušnej rázovej vlny, vyvolanej výbuchom zmesi látky so vzduchom.
- Model PLUME - vyhodnocuje dlhotrvajúci únik plynu do oblaku a tiež jednorazový únik vriacej kvapaliny s rýchlym odparom do oblaku.
- Model PUFF - vyhodnocuje jednorazový únik plynu do oblaku, jednorazový únik vriacej kvapaliny s rýchlym odparom do oblaku.
- Model FLASH FIRE - vyhodnocuje veľkosť priestoru ohrozenia osôb plamennou zónou-tzv. efekt Flash Fire:
  - BLEVE - ohrozenie nádrže plošným požiarom,
  - JET FIRE - masívny únik plynu s horením,

- POOL FIRE - horenie kaluže kvapaliny alebo vriacej kvapaliny. [5]

### Výbušné systémy

- Model typu TEROR - vyhodnocuje dopady detonácie výbušných systémov, použité s cieľom ohrozenia okolia detonácie.

### Otravné látky

- Model POISON - pre predvídanie šírenia oblaku vzniknutého rozptýlením otravnej látky, kde vstupným parametrom je rozloha územia v ha. Umožňuje podľa typu látky zvoliť následky primárneho rozptylu voľbou Rozptýlenie a tiež sekundárneho odparu voľbou Odpar z kaluže.
- Model ATP-45B - výsledky sú závislé na spôsobe použitia látky nie na sile vetra. Zasiahnutú oblasť predstavuje kružnica o určitom polomere. Tento model je veľmi hrubý a je určený skôr pre vojenské účely. [5]

## 2.2 Nástroje pre simuláciu

### 2.2.1 EIS/SIM,ESIM2000

System umožňuje základné činnosti dispečera ako je príjem, odosielanie a evidenciu, riadenie vzniknutej udalosti s automatizovaným zaznamenávaním priebehu a automatizovanou tvorbou hlásení, evidenciu potrebných zdrojov pre riešenie mimoriadnych udalostí. System umožňuje aj využitie grafických prostriedkov a prácu s mapou pomocou GIS. Je možné vytvárať okamžité prehľady o situácii a jej vývoji, zdrojoch rizika, o silách a prostriedkoch, popis objektov a tiež spracovanie konkrétnych plánov činností, ukrytia a evakuácie. [6]

### 2.2.2 XVR

Je program vyvinutý firmou E-semble v Nizozemsku, určený k vzdelávaniu a odbornej príprave príslušníkov a zamestnancov záchranných a bezpečnostných zborov. Jedná sa o výukový program, kde je možné simulovať zásahy zložiek IZS pri rôznych MU. V tomto programe je možné vykonávať riadenie zásahu na taktickej, operačnej i strategickej úrovni.[6]

Softwarová podpora problematiky umožňuje vytvárať kvalitné prognózy následkov mimoriadnych udalostí. V spojení s geografickými informačnými systémami je možné kvalifikované modelovanie. Problémom ale stále zostáva zlyhanie ľudského faktora a taktiež nedodržiavanie platnej legislatívy, prípadne obchádzanie predpisov a nariadení. Je nevyhnutné tieto nariadenia a zákony dodržiavať, dbať na to, aby boli zamestnanci dôkladne preškolení, oboznámení s možnými rizikami. Dôležité sú tiež pravidelné nácviky možného vzniknutého poplachu. Významným prvkom informačnej podpory v oblasti prevencie mimoriadnych udalostí je teda simulácia.

## 3. Simulácia úniku nebezpečnej látky v podniku v prostredí Ter-Ex

Pre realizáciu simulácie úniku nebezpečnej látky bol zvolený dostupný software TerEx od firmy T-Soft a.s. Z poskytnutých zoznamov skladovaných a používaných látok vo

firme bola zvolená látka dietyléter, ktorej reálne skladované množstvo je potenciálnym zdrojom rizika. TerEx je určený na operatívne použitie jednotkami IZS pri vlastnom zásahu, umožňuje rýchle určenie rozsahu ohrozenia a následnú realizáciu následných opatrení pri ochrane obyvateľov. Užívateľské prostredie programu je intuitívne a prehľadné, možnosť voľby českého prípadne slovenského jazyka prácu s programom výrazne zjednodušuje. Výstupy programu sú zrozumiteľné, čo môže byť rozhodujúce v prípade stresovej situácie, kedy je potrebné rýchle rozhodovanie a zhodnotenie výsledkov simulácie.

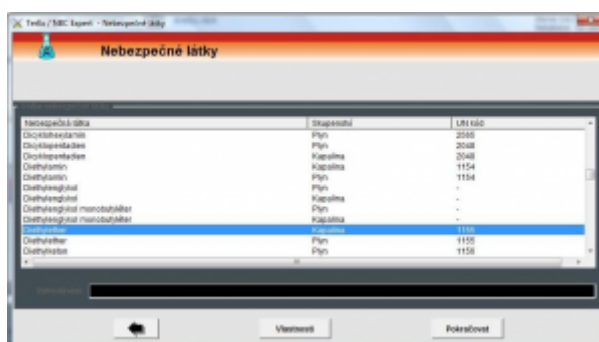


Obr. 2. Základná ponuka softwaru TerEx

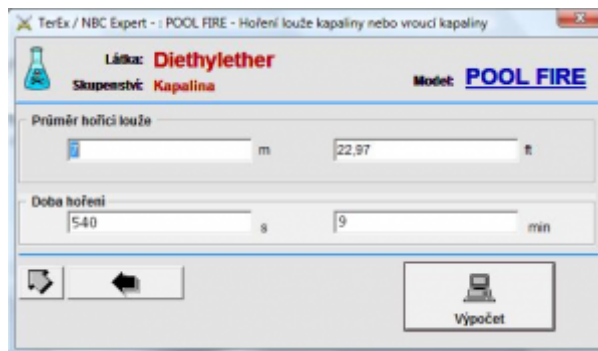
### 3.1 Simulácia horenia kaluže kvapaliny dietyléter

Za normálnych podmienok ide o čiru, bezfarebnú a extrémne horľavú kvapalinu s nízkym bodom varu a charakteristickou sladkastou vôňou. Dietyléter je náchylný na tvorbu peroxidov a môže tvoriť výbušný dietyléterperoxid. Peroxidy majú vyšší bod varu a po vyschnutí vybuchujú už pri slabom dotyku. Pre dietyléter platia nasledujúce R a S vety :

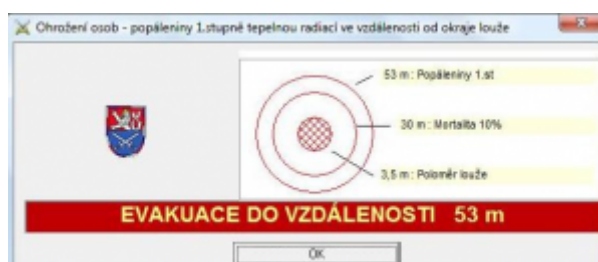
Špecifické riziko (R vety): R12 Extrémne horľavý, R19 môže vytvárať výbušné peroxidy, R22 Zdraviu škodlivý pri požití R66 Opakovaná expozícia môže spôsobiť vysušenie alebo popraskanie pokožky, R67 Vdychovanie výparov môže spôsobiť ospalosť a závraty. Zo základnej ponuky programu vyberieme možnosť Nebezpečné látky a vyhladáme požadovanú látku. Pre látku Dietyléter v kvapalnom skupenstve boli zvolené tieto hodnoty: priemer horiacej kaluže 7 m, doba horenia 9 minút.



Obr. 3. Výber nebezpečnej látky z databázy



Obr. 4. Zadané hodnoty pre dietyléter



Obr. 5. Ohrozenie osôb pri úniku dietyléteri

Program následne podľa zadaných hodnôt vyhodnotil následky horenia kaluže kvapaliny takto:

- v okruhu 53 m od okraja kaluže kvapaliny hrozí akútne riziko popálení 1. stupňa,
- v oblasti 30 m od okraja kaluže hrozí 10% mortalita,
- pri úniku zadaného množstva kvapaliny je nutná evakuácia minimálne do vzdialenosti 53 m od okraja kaluže,
- v okruhu 10 m môže dôjsť k narušeniu pevnosti ocele.

Kvapalina je okrem iného hodnotená ako škodlivá pre vodné prostredie, zásadným problémom v prípade úniku nebezpečnej látky je teda fakt, že v tesnej blízkosti podniku preteká vodný tok. Takže v prípade havárie je nutné zabrániť úniku látky do tohto vodného toku. V prípade že by došlo k úniku látok do povrchového toku cez kanalizačný systém, je nutné okamžite zastaviť odtokanie vôd do tohto potoka.

V prípade požiaru je použité väčšie množstvo vody s prímiesou hasiacich chemikálií, z toho vyplýva možná hrozba kontaminácie hasiacej vody škodlivými látkami uvoľnenými pri požari. Odtokanie takýchto kontaminovaných vôd do potoka musí byť bezpodmienečne odstavené. Z vyhodnotených výsledkov teda vyplýva, že je nevyhnutné vykonať evakuáciu podniku podľa požiarnej poplachovej smernice a ďalej postupovať podľa vypracovaných plánov.

## Záver

Príspevok pojednáva o využití modelovania a simulácie v kontexte s efektívnym riešením mimoriadnych udalostí. Simulačný nástroj sa stáva neoddeliteľnou súčasťou procesu kvantifikácie bezpečnostných rizík. Tomuto prechádza vypracovanie kvalitnej analýzy rizík, ktoré vyžaduje vysokú kvalifikovanosť odborníkov pracujúcich na analýze, môže byť výrazne časovo náročné. Často sa využívajú kombinácie rôznych analytických metód, čo prináša vyššiu kvalitu konečných výstupov.

Netreba však zabúdať na ľudský faktor pri hodnotení všetkých možných rizík využitím jednotlivých druhov analýz. Historické fakty dokazujú, že vplyv človeka na vznik závažnej havárie je až 80%. Mnohé najzávažnejšie mimoriadne udalosti, ktoré sa v minulosti stali boli spôsobené chybou človeka alebo celého tímu ľudí. Preto je nevyhnutné dbať na to, aby boli všetci zamestnanci dostatočne informovaní a kvalitne preškolení a aby bola striktné dodržiavaná platná legislatíva.

### **Použitá literatúra**

1. BERNATÍK, Aleš, Prevence závažných havárií II., Ostrava 2006. Dostupný z WWW.  
<http://www.fbi.vsb.cz/shared/uploadedfiles/fbi/skripta-PZH-II.pdf>
2. BABINEC, František. Management rizika: Loss Prevention and Safety Promotion. Brno, 2005. Učební text. Slezská univerzita v Opavě. Dostupný z WWW:  
<http://www.slu.cz/math/cz/knihovna/ucebni-texty/Analyza-rizik/Analyza-rizik-1.pdf>
3. ALOHA: User´s manual [online]. 2007 [cit. 2012-03-25]. Dostupný z WWW:  
<http://www.epa.gov/OEM/docs/comeo/ALOHAManual.pdf>
4. HAVLOVÁ, Michaela. T-SOFT A.S. Modelování úniků NL a teroristických útoků: Výukový materiál. Praha, 2008
5. TerEx [online]. Praha: T-Soft [cit. 2007-07-27]. Dostupný z WWW:  
<http://www.tsoft.cz/index.php?q=cz/terex>
6. Ministerstvo obrany a Armáda ČR [online]. 2004 [cit. 2012-04-26]. Dostupný z WWW:  
<http://www.army.cz/scripts/detail.php?id=2828>