

ESTE Dukovany- systém na podporu rozhodovania Krízového štábu SÚJB ČR

Dušan Suchoň, Peter Čarný, Eva Smejkalová, Miroslav Chylý

ABmerit – nuclear science and software, Nám.J.Herdu 1,
917 01 Trnava, Slovakia,
abmerit@abmerit.sk

Abstrakt.

ESTE EDU ("Emergency Source Term Evaluation code") je geoinformačný systém pre podporu rozhodovania krízového štábu na úrovni jadrovej elektrárne alebo na úrovni štábu. Systém je určený na zistenie a vyhodnotenie reálne nastalého úniku rádioaktívnych látok do okolia, na výpočet dopadov úniku v prípade jadrovej alebo radiačnej havárie, návrhy ochranných opatrení na obyvateľstvo a v poľnohospodárstve. ESTE EDU sa používa aj pre generovanie prognózy zdrojového člena (predpokladaný možný očakávaný únik rádioaktívnych látok do atmosféry okolia) a výpočet dávok počas transportu (evakuácie obyv.) na určenej trase. Systém je online pripojený k technologickým a radiačným dátam z reaktora, z primárneho a sekundárneho okruhu, kontajmentu a z ventilačného komína. Pripojený je aj k dátam jadrovej elektrárne a k dátam z teledozimetrického systému (TDSI a TDS II). Rovnako online systém využíva meteorologické dáta. Vzhľadom na všetky vstupné údaje (online: technologické, radiačné, meteorologické údaje, statické: implementované formou geoúdajov), výstupné dáta (vypočítané dopady rádioaktívneho úniku, dávkový príkon z mraku, z depa na danom mieste na teréne), výpočty a modelovanie šírenia, je ESTE EDU postavený ako geoinformačný systém. ESTE EDU stanovuje rádiologické dopady (najmä odvrátené dávky) a modeluje šírenie prognózovaného zdrojového člena a naozaj nastalého úniku v okolí. Klasifikuje aktuálne vyhodnotenú situáciu vzhľadom na medzinárodnú stupnicu pre hodnotenie udalostí na jadrových zariadeniach – INES. Poskytuje informáciu o vypočítaných dávkach pozdĺž vopred definovanej trasy úniku (evakuácie). Informácia je počítaná na základe údajov z mapy reálnych rádiologických dopadov. Šírenie rádionuklidov v atmosfére okolia z miesta úniku je počítané modelom PTM (Puff Trajectory Model) a na základe modelu LPM (Lagrangean Particle Model). Aplikovaný postup umožňuje v reálnom čase modelovať trajektórie obrovského množstva častíc v atmosfére, ich difúziu, depozit a rádiologickú premenu.

Kľúčové slová: únik rádioaktívnych látok, krízový štáb, modelovanie šírenia, PTM model, Lagrangian Particle Model

Abstract.

ESTE Dukovany– decision support system for the Crisis Staff of SÚJB ČR. ESTE EDU (Emergency Source Term Evaluation code) is the emergency response system that helps the crisis staff of the nuclear power plant (NPP) in assessing the source term (predicted possible release of radionuclide to the atmosphere), in assessing the urgent protective measures and sectors under threat, in assessing real release (symptoms of release really detected and observed), in calculating radiological impacts of real release, averted or avertable doses, potential doses and doses during transporting or evacuation on specified routes. System is implemented at the Emergency Response Center (Crisis Staff) at State Office for Nuclear Safety of Czech Republic (SÚJB) and also at the National Radiation Protection Institute of Czech Republic (SÚRO) in Prague. The crisis staff of the Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management in Vienna is using this system as well. ESTE EDU at SÚJB is connected online to the sources of technological and radiological data from the reactor, primary circuit, confinement, secondary circuit, ventilation stack, from the area of NPP (Early Warning System I) and from the emergency planning zone (Early Warning System II). System is connected online to the sources of meteorological data. According to the input and output geodata, simulation and calculations, the GIS platform is fully implemented in the system. The task of the system is to determine automatically actual threat of release to the environment (by detection of symptoms of initiating event, symptoms of release pathway, state of the core and state of the confinement), to calculate prognosis of radiological impacts and to prepare information for the crisis staff about recommended urgent protective measures. Another task is to assess automatically symptoms of the event, according to INES (International Nuclear Event Scale). Further task is to detect automatically symptoms of real release to the atmosphere of the environment (on the base of dose rate measurements in the area of Dukovany and the emergency planning zone) and to calculate real radiological impacts (of really observed – not predicted – source term). The PTM (Puff Trajectory Model) and LPM (Lagrangean Particle Model) are used in parallel for the release dispersion and impacts modelling. The size of one computing element (square element) is 3x3km – when we are modelling the impacts up to 300km range from NPP or

1x1km for the impacts up to 40km range. The implementation of LPM enables us to compute the trajectories of a large number of so-called particles to describe the transport and diffusion of tracers in the atmosphere. The model simulates the transport, diffusion, dry and wet deposition and radioactive decay of tracers released from defined (volume) sources.

Keywords: nuclear accident, crisis staff, radioactive puff, PTM model, Lagrangian Particle Model

1 Úvod

Program ESTE EDU (Emergency Source Term Evaluation code) je systém pre havarijnú odozvu v prípade havárie alebo inej udalosti s významným únikom rádioaktívnych látok do atmosféry okolia z JE Dukovany. Systém je implementovaný na Štátnom úrade pre jadrovú bezpečnosť (SÚJB) ČR v Prahe (pre potreby Krízového štábu SÚJB. Špecifickú verziu programu používa Krízový štáb na Ministerstve životného prostredia Rakúskej republiky). Systém je určený pre 4 bloky JE Dukovany a paralelne vyhodnocuje situáciu na všetkých blokoch. Jeho úlohou je stanovenie zdrojového člena (prognózy úniku alebo reálne nastaného úniku rádioaktívnych plynov a aerosolov do atmosféry okolia).

2 ESTE EDU

Hlavnou úlohou systému je zistenie a následné vyhodnotenie úniku rádioaktívnych (RA) látok do atmosféry okolia a výpočet dopadov úniku. Systém na základe svojich výsledkov navrhuje ochranné opatrenia smerom na obyvateľstvo a poľnohospodárstvo a to najmä v zóne havarijného plánovania (cca 20km od jadrového zariadenia). Okrem výpočtu reálne nastaného úniku do okolia, systém generuje prognózu zdrojového člena (predpokladaný možný očakávaný únik rádioaktívnych látok do atmosféry okolia) a počíta dávky počas transportu (evakuácia obyvateľstva) na určenej trase.

ESTE EDU automaticky vyhodnocuje symptómy udalosti a klasifikuje ju podľa stupnice INES (International Nuclear and Radiological Event Scale). Hodnotenie stupňa INES od 4 vyššie je zásadne dané vyhodnoteným únikom do okolia (podľa I-131 ekvivalentnému úniku do atmosféry okolia), preto systém ESTE EDU je veľmi vhodný nástroj na odhad stupňa 4 a vyššie. Naopak, stupeň INES 0, 1 a 2 má mnoho symptómov, ktoré nie sú k dispozícii v automatickom on-line režime a systém sa nimi nezaobrá.

V automatickom režime systém vyhodnocuje prognózu možného úniku RA látok do okolia (prognózu zdrojového člena) a jeho dopad (pomocou detekcie symptómov iniciačnej udalosti, trasy úniku, aktuálneho stavu aktívnej zóny a kontajnementu). Ďalej zistí a vyhodnotí reálne nastalý únik RA látok do okolia a pripraví informácie pre krízový štáb- odporúčanie naliehavých ochranných opatrení, analýzy, mapy, grafy, tabuľky potrebné pre proces rozhodovania. Kontinuálne vyhodnocuje odhadovanú veľkosť a zloženie nastalého úniku a skutočnosť, či je únik prerušený (resp. aktuálne nie je). Systém modeluje rádiologické dopady (najmä odvrátiteľné dávky) a šírenie prognózovaného a naozaj nastalého úniku v okolí.

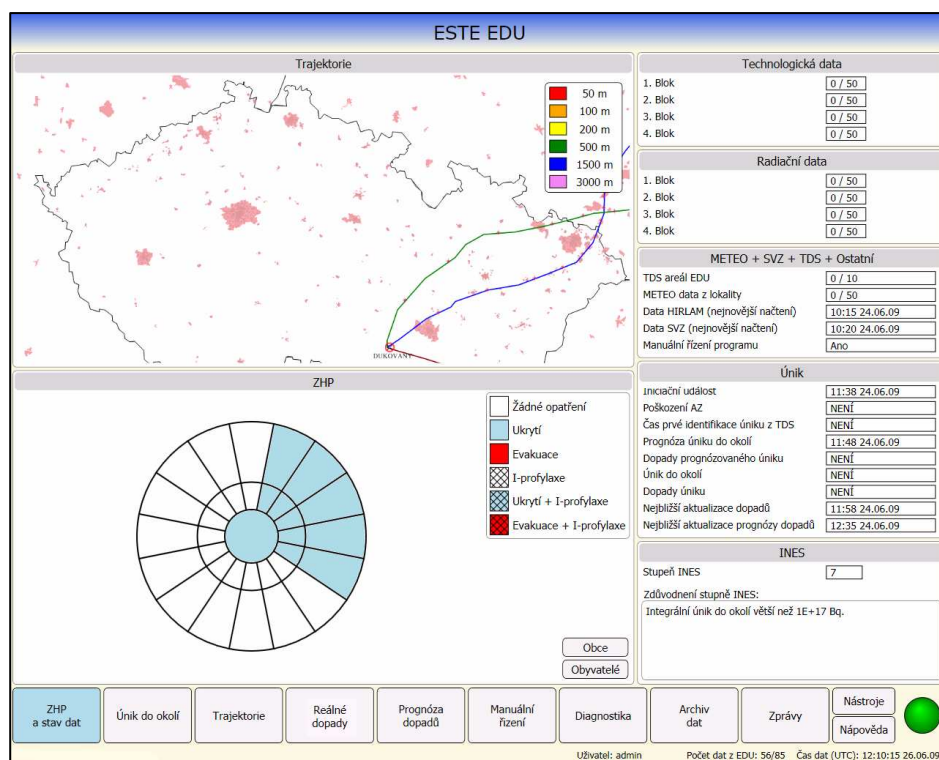
ESTE EDU je tiež možné použiť v režime pre cvičenia krízového štábu –implementované je prepnutie z režimu „online“ do režimu načítavania havarijného scenára s možnosťou manuálneho zásahu užívateľa do priebehu scenára. Manuálne riadenie je členom krízového štábu umožnené aj v „online“ režime.

Systém zobrazuje aktuálny stav v jednotlivých sektoroch zóny havarijného plánovania a podľa vyhodnotenej radiačnej situácie publikuje navrhované ochranné opatrenia. Informácia je periodicky aktualizovaná v 15 minútovom intervale. ESTE EDU taktiež poskytuje informáciu o vypočítaných dávkach pozdĺž vopred definovanej trasy pohybu (evakuácie) na mape. Informácia je počítaná na základe údajov z mapy reálnych rádiologických dopadov.

2.1 Vstupy systému

Na vstupe do ESTE EDU sa nachádza viacero dát- technologických radiačných, meteorologických a dát z teledozimetrického systému, ktoré sú načítavané automaticky. Niektoré zo vstupov je možné zadať aj manuálne cez užívateľské rozhranie.

V systéme je implementovaný zdokonalený "data assimilation" proces (proces prispôsobenia modelovaných, predpokladaných, parametrov výpočtu reálne meraným parametrom). Reálny únik je stanovený na základe konverzných faktorov, ktoré slúžia na prepočet odozvy monitorov dávkového príkonu (TDS) v areáli EDU v [Gy/h] na aktivitu mraku. Konverzné faktory sú vypočítané pre každý jeden detektor, pre každý jeden uvažovaný nuklid v úniku (t.j. pre energie fotónov toho nuklidu), pre rôzne uvažované miesta úniku, pre efektívnu výšku úniku 60 m a 120 m, pre 3 základné typy počasia (kategória stability počasia A,D,F) a pre každú (t.j. ľubovoľnú aktuálne meranú v lokalite EDU) rýchlosť vetra. Aktivita rádioaktívnych mrakov reálneho úniku (puff-ov) je korigovaná nielen vzhľadom na odozvu TDS v areáli, ale aj vzhľadom na odozvu 2.okruhu TDS v ZHP. T.j. aktivita daného mraku je korigovaná tak, aby bol dosiahnutý súlad medzi dopadmi (napr. dávkovým príkonom) vypočítanými programom a dopadmi (napr. dávkovým príkonom) reálne meranými. Vypočítané rádiologické dopady "reálneho úniku" sú korigované aj vzhľadom na odozvu monitorov dávkového príkonu radiačnej monitorovacej siete (RMS), t.j. na základe odozvy monitorov, ktoré sa prípadne nachádzajú aj mimo zónu havarijného plánovania EDU.



Obr. 1. Hlavná obrazovka systému ESTE EDU

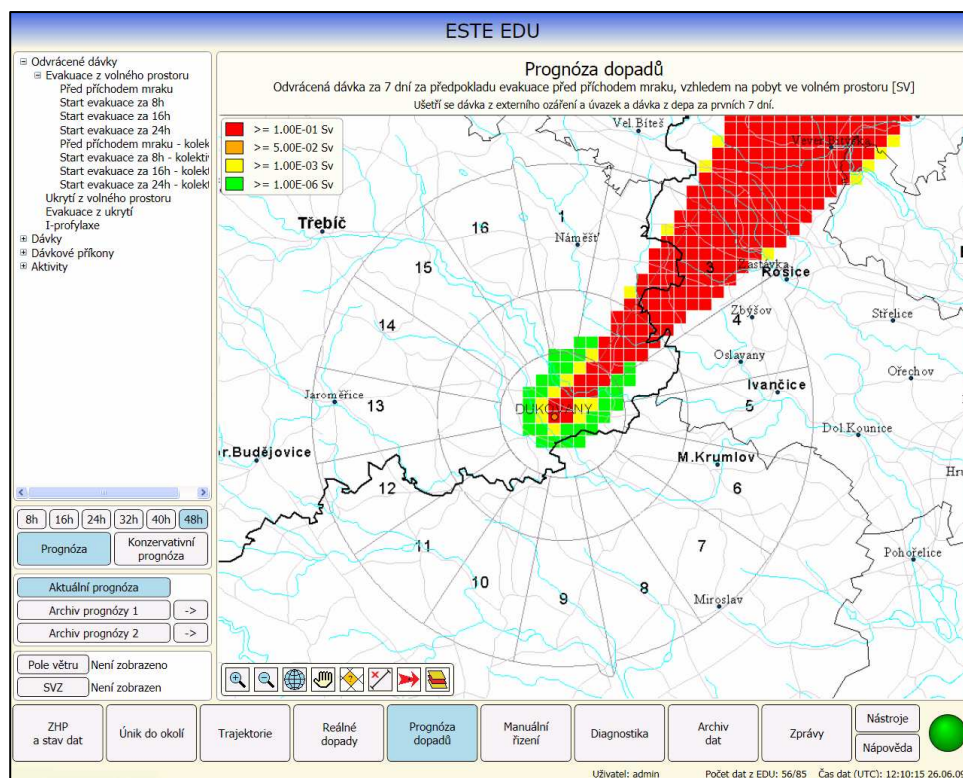
2.2 Výstupy zo systému

Systém počas svojho behu neustále počíta trajektórie (viď obr.č.1- vľavo hore). Sú to lomené čiary, ktoré vyjadrujú pomyselnú dráhu centra puff-u (RA mraku), ak by sa puff šíril počas celej trasy svojho šírenia v danej výškovej vrstve nad terénom. Systém počíta a zobrazuje pre lokalitu EDU (miesto úniku alebo potenciálneho úniku) 6 trajektórií, na hladine ~50 m, ~100 m, ~200 m, ~500 m, ~1 500 m a ~3 000 m nad terénom. Pre výpočet trajektórií predpokladáme "okamžitý" únik v danom čase začiatku výpočtu. Trajektórie sú počítané pre čas +48 h od začiatku výpočtu (trasa pomyselného puff-u je modelovaná 48 hodín).

Pre lokalitu elektrárne Dukovany je na každom mapovom výstupe a aj na hlavnej obrazovke systému (viď obr.č.1, vľavo dole) zobrazovaná sektorizácia zóny havarijného plánovania (ZHP). Výstupom výpočtov systému sú automaticky stanovené neodkladné ochranné opatrenia a sektory v zóne havarijného plánovania EDU (ZHP), ktoré sú ohrozené (na základe prognózovaného úniku stanoveného na základe znalosti aktuálneho stavu technológie a stavu AZ havarovaného bloku JE). Vnútorňý kruh je s polomerom 5 km a vonkajší má polomer 20 km. Zobrazovaný stav dynamicky v každom okamžiku korešponduje s vypočítanými dozimetrickými hodnotami (modelom ESTE) v

jednotlivých sektoroch, ktoré sa porovnávajú so zásahovými úrovňami pre navrhovanie jednotlivých neodkladných ochranných opatrení. Radiačná situácia pre navrhovanie ochranných opatrení sa posudzuje v programe na základe prognózy zdrojového člena, t.j. jednotlivé hodnoty v sektoroch sú dané vypočítanou prognózou dopadov z prognózy zdrojového člena. Ak je zásahová úroveň pre prijatie opatrenia prekročená v niektorom sektore, potom program automaticky odporučí navrhované opatrenie aj v susedných dvoch zľava, sprava a v kruhu do 5 km. Analýza počtu obyvateľov a jednotlivých obcí, ktoré budú opatrením zasiahnuté, je ďalšou funkciou systému.

Stanovený reálny únik rádionuklidov do atmosféry okolia a jeho časový priebeh je ďalším z výstupov systému. Systém stanovuje rádiologické dopady úniku (prognózovaného a reálne nastaného úniku), odvrátené dávky za predpokladu aplikácie ochranných opatrení, potenciálne dávky, dávky počas transportu po zadanej trase.



Obr. 2. Vypočítaná mapa prognózy dopadov

2.3 Použité modely šírenia

Šírenie rádionuklidov v atmosfére okolia miesta úniku je počítané na základe PTM modelu (Puff Trajectory Model). Veľkosť jedného výpočtového štvorca na mape je 3x3km (možnosť zmeny veľkosti) v prípade modelovania šírenia do vzdialenosti 300 km od JE a 1x1km v prípade modelovania šírenia do vzdialenosti 40 km od JE. V systéme je tiež paralelne implementovaný výpočet šírenia rádioaktívnych plynov a aerosolov v atmosfére na báze LPM (Lagrangian Particle Model). Aplikácia modelu LPM je postavená na výpočte trajektórií obrovského množstva častíc v atmosfére, modelovanie ich pohybu, difúzie, depozitu a rádioaktívnej premeny.

V systéme implementovaný **Puff Trajectory model (PTM)** popisuje pohyb ťažiska diskretných obláčikov (puff-ov). Model je metódou pre výpočet šírenia rádioaktívnych látok emitovaných do atmosféry. Únik sa v modeli simuluje sériou okamžitých výpustí (puff-ov), ktoré sa v atmosfére ďalej pohybujú v tvare rozširujúcich sa diskretných oblakov. Pre popis atmosférickej difúzie v horizontálnom smere sa používa gaussovský model rozptylu látok v atmosfére. Na popis atmosférickej difúzie puff-u vo vertikálnom smere sa používa metóda numerického riešenia poloempirickej rovnice atmosférickej difúzie. Matematický model zohľadňuje mechanizmy rádioaktívnej premeny, vymývania zrážkami, suchého spad.

Spodná časť atmosféry, medzi terénom a aktuálnou výškou zmiešavacej vrstvy, sa rozdelí na N boxov (napr. 10 vertikálnych vrstiev- boxov). Doplňia sa 2 fiktívne boxy na hornej a spodnej hranici, ktoré sa použijú vo výpočte na modelovanie procesov difúzie na hornej a dolnej hranici vrstvy. V mieste úniku sa aktivita puff-u rovnomerne rozloží do boxu (boxov) prislúchajúcich efektívnej výške úniku (efektívna výška úniku môže byť známa alebo predpokladaná, únik môže byť od začiatku simulovaný v určitom objeme, t.j. zasahujúci do viacerých vertikálnych boxov v atmosfére). V modeli v programe ESTE predpokladáme, že vo všetkých uvažovaných boxoch (vrstvách atmosféry) je rýchlosť a smer vetra vyjadrená "stredným" vektorom rýchlosti vetra.

Druhým paralelne použitým modelom je **Lagrangeov "Particle Model" (LPM)**, ktorý počíta trajektórie veľkého množstva častíc nesúcich rádionuklid (v skutočnosti nemusí ísť o častice, ale o veľké množstvo malých puff-ov, balíkov vzduchu s určitým obsahom rádioaktívnych plynov alebo aerosolov). Model vychádza z rovníc a vstupných METEO parametrov, ktoré sú popísané pre model FLEXPART [2]. Aplikácia modelu pre potreby ESTE vedie k implementácii online výpočtov šírenia rádioaktívnych polutantov v atmosfére a k výpočtom relevantných dozimetrických veličín (aktivita v prízemnej vrstve ovzdušia, aktivita – depozit – na teréne, dávky a dávkové príkony z mraku, z depozitu, z inhalácie, atď.)

LPM model na vstupe vyžaduje znalosť vertikálnej a horizontálnej zložky vetra, teploty a relatívnej vlhkosti v rôznych výškových (tlakových) vrstvách nad reálnym terénom. Je postavený na Monte-Carlo simulácii veľkého množstva "častíc" emitovaných zo zdroja. LPM model umožňuje modelovať disperziu RA plynov a aerosolov pre úniky pod zmiešavaciu vrstvu atmosféry a nad zmiešavaciu vrstvu atmosféry (ABL). Komplexná implementácia časticového modelu do systému ESTE EDU je možná vďaka využitiu pokročilých metód paralelného výpočtu. Celá simulácia sa vykonáva na grafickej karte pracovnej stanice s podporou CUDA. CUDA (Compute Unified Device Architecture) je technológia využívajúca hardware grafických kariet Nvidia pre všeobecné výpočty.

Reference

- [1] Čarný, P., Smejkalová, E., Chylý, M., Suchoň, D., Fabová, V.: *The User Manual of ESTE EDU*, 2009, Trnava
- [2] Stohl, A., et al: Technical note: *The Lagrangian particle dispersion model, FLEXPART version 6.2*, in: *Atmospheric Chemistry and Physics*, 5, 2461–2474, 2005