

DŮSLEDKY HAVÁRIE NA JE FUKUŠIMA V JAPONSKU: MÝTY A SKUTEČNOST

**doc. Ing. Jozef Sabol, DrSc.,^{1,2} prof. Ing. Bedřich Šesták, DrSc.¹
prof. MUDr. Leoš Navrátil, CSc.,² doc. MUDr. Jozef Rosina, PhD²**

ABSTRAKT

Havárie na japonské jaderné elektrárně Fukušima, ke které došlo 11.3.2011 v důsledku silného zemětřesení a následných vln cunami, je stále v popředí pozornosti odborníků i veřejnosti na celém světě. Kvůli problémům s chlazením aktivní zóny reaktorů došlo tam k enormnímu zvýšení teploty, což nakonec vedlo k výbuchům, které vyvolaly částečné rozrušení kontejnmentů a způsobily tak únik určitého množství radioaktivních látek mimo reaktorové budovy. Referát se zabývá hodnocením radiologických dopadů této jaderné havárie, přičemž snahou autorů bylo interpretovat důsledky nehody v souladu se současnými poznatky a zkušenostmi v této oblasti. Důraz byl přitom kladen také na vyvrácení některých katastrofických tvrzení, která se vyskytla ve sdělovacích prostředcích, kde se havárie nepopisuje vždy v souladu s příslušnou technickou terminologií a navíc, její dopady se vesměs neopodstatněně zveličují.

Klíčová slova:

Jaderná elektrárna, jaderná havárie, Fukušima, ozáření obyvatel, životní prostředí

ABSTRACT

The accident at the nuclear power plant Fukushima in Japan, which occurred on 11 March 2011 due to strong earthquake which was followed by tsunami waves, has still been attracting attention of both specialists and the public. The problems with the cooling of reactors resulted in enormous increase of temperature, which lead to some explosions causing partial destruction of containments and the following release of radioactive material out of the reactor building. The paper deals with the assessment of radiological consequences of this nuclear accident, where the authors tried to interpret its impact in line with the current knowledge and experience in the field. The emphasis is directed towards challenging some catastrophic interpretations which occurred in

¹ Policejní akademie České republiky v Praze, Lhotecká 359, 143 01 Praha 4, ČR; www.polac.cz

² ČVUT v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství, n. Sítňá 3105, 272 01 Kladno, ČR; www.fbmi.cvut.cz

mass media where the accident has not always been presented using adequate terminology and, moreover, the impact of the accident has largely been exaggerated.

Key words:

Nuclear power plant, nuclear accident, Fukushima, exposure of the population, environment

ÚVOD

Havárie na japonské JE Fukušima, která sestává ze šesti samostatných bloků s celkovým elektrickým výkonem 6,7 GW, se s určitostí zařadí mezi tři doposud největší nehody na jaderně energetických zařízeních. Ty předchodí postihly JE Three Mile Island v USA v r. 1979[1] a pak zejména 4. Blok JE Černobyl na Ukrajině v r. 1986 (tehdy na území bývalého SSSR) [2].

Zatímco nehoda na elektrárně Three Mile Island neměla, díky kontejnmentu, prakticky žádné důsledky na okolní obyvatelstvo a životní prostředí, havárie v Černobylu vyústila v rozsáhlou radioaktivní kontaminaci nejenom v bezprostřední blízkosti elektrárny, ale radioaktivním spadem zasáhla i sousední země. Určitá část radioaktivních látek se dostala i na území dnešní České republiky, přičemž některé radionuklidy byly detekovány prakticky na všech místech ve světě.

Z hlediska radiologických dopadů, o život přišlo nejméně 60 osob (převážně hasičů a dalších pracovníků, kteří se snažili likvidovat požár bezprostředně po výbuchu v reaktorové budově). Z těchto pracovníků jich zhruba 50 zemřelo na akutní nemoc z ozáření v roce 1986, popřípadě z jiných příčin v následujících letech. Dále zemřelo 9 dětí, které onemocněly na rakovinu štítné žlázy a 19 dalších pak zemřelo z nejrůznějších příčin v průběhu let 1987–2004. Dlouhodobé následky ozáření mohly způsobit nějaká úmrtí mezi těmi, kdo přežili akutní nemoc s ozáření.

V běžné populaci, která byla zasažena pouze radioaktivním spadem, byly dávky záření celkem nízké, neprojevoval se akutní syndrom z ozáření a s ním spojená úmrtí nebo jiné deterministické biologické účinky, k nimž dochází při vyšších dávkách převyšujících určité prahové úrovně.

Vyskytovala se tvrzení, že v důsledku havárie zemřely desítky, nebo dokonce statisíce osob. Tato tvrzení jsou zveličená: celkový počet lidí, kteří následkem černobylské havárie zemřeli nebo ještě mohou zemřít, se odhaduje na 4 000 [3]. Tento údaj vychází z počtu 200 000 lidí, kteří se v letech 1986–1987 zúčastnili záchranných a nápravných prací, 116 000 evakuovaných a dále 270 000 obyvatel nejhůře kontaminovaných oblastí, kteří mohou v důsledku ozáření zemřít na rakovinu. V těchto případech, charakterizovaných relativně nízkými úrovněmi efektivní dávky (zřídka nad 100 mSv), se jedná o výlučně stochastické činky, kde u ozářené osoby může, ale nemusí dojít k onemocnění. Přitom pravděpodobnost toho, že se tak stane, závisí na velikosti efektivní dávce, což je veličina, která vychází ze střední dávky specifikovaných

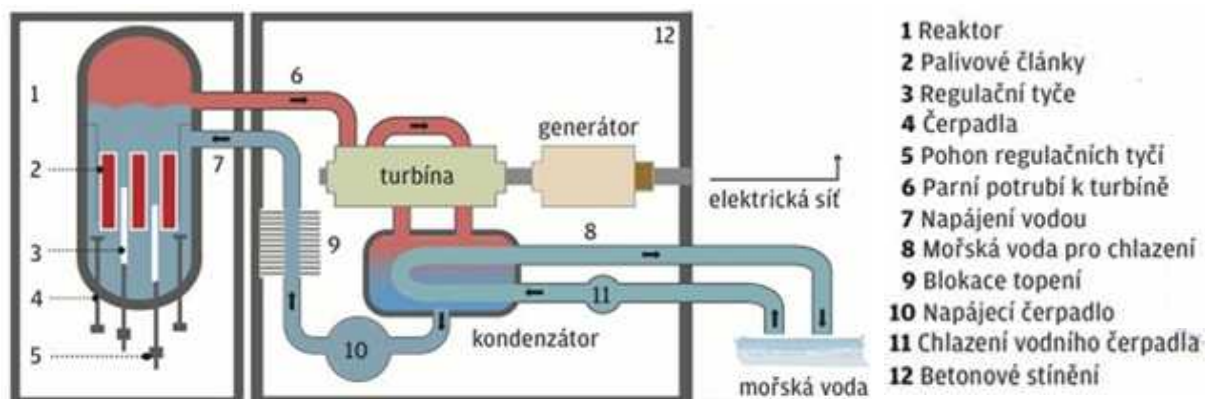
orgánů, přičemž zohledňuje odlišné působení různých druhů záření na jednotlivé orgány, kde se bere v potaz jejich rozdílná citlivost na ozáření (jednotkou je již zmíněný Sv – sievert, nebo spíše mSv, neboť jde o nízká ozáření)¹.

Ve Fukušimě zatím v důsledku ozáření nikdo nezemřel, několik techniků však bylo vystaveno vyšším dávkám, které byly vesměs pod prahovou úrovní pro deterministické účinky. Srovnání s katastrofou na Ukrajině odborníci proto považují za neadekvátní. Mimo jiné z toho důvodu, že radioaktivních látek byl tehdy mnohanásobně vyšší a havárie zapříčinila smrt některých záchranářů a pracovníků elektrárny.

1 JADERNÝ KOMPLEX FUKUŠIMA PŘED A PO NEHODĚ

1.1 VARNÝ JADERNÝ REAKTOR

Principiální schéma bloku jaderné elektrárny s varným jaderným reaktorem je na obrázek 1. Tento typ reaktoru je jednookruhový a je moderovaný a chlazený obyčejnou vodou [4]. Je druhým nejrozšířenějším jaderným reaktorem po tlakovodním typu reaktoru, který je dvouokruhový. Ve varném reaktoru k varu vody dochází přímo v tlakové nádobě reaktoru a vzniklá pára pohání turbínu. Tím se o něco zvyšuje i účinnost avšak toto zjednodušení má však oproti tlakovodnímu reaktoru i některé nevýhody. V tomto případě totiž pára pohánějící turbínu je částečně radioaktivní.



Obrázek 1. Schématické znázornění jednotlivých částí jaderné elektrárny s varným reaktorem.

1.2 JE FUKUŠIMA PŘED NEHODOU

Jaderně energetický komplex Fukušima 1 (japonsky Fukušima Dai-iči, dále jenom jako Fukušima) se nachází na břehu Tichého oceánu v blízkosti města Okuma na severovýchodě země (obrázek 2). Zahrnuje šest varných reaktorů o celkovém výkonu 4,7 GW, čímž se tato elektrárna řadí mezi 25 nejvýkonnějších jaderných elektráren na světě. Výstavba elektrárny začala v roce 1967, první reaktor byl spuštěn v r. 1971, poslední v r. 1979. Kromě běžných drobných anomálií, na elektrárně nedošlo v minulosti k žádným problémům, které by vedly k nekontrolovatelnému úniku radioaktivních látek.

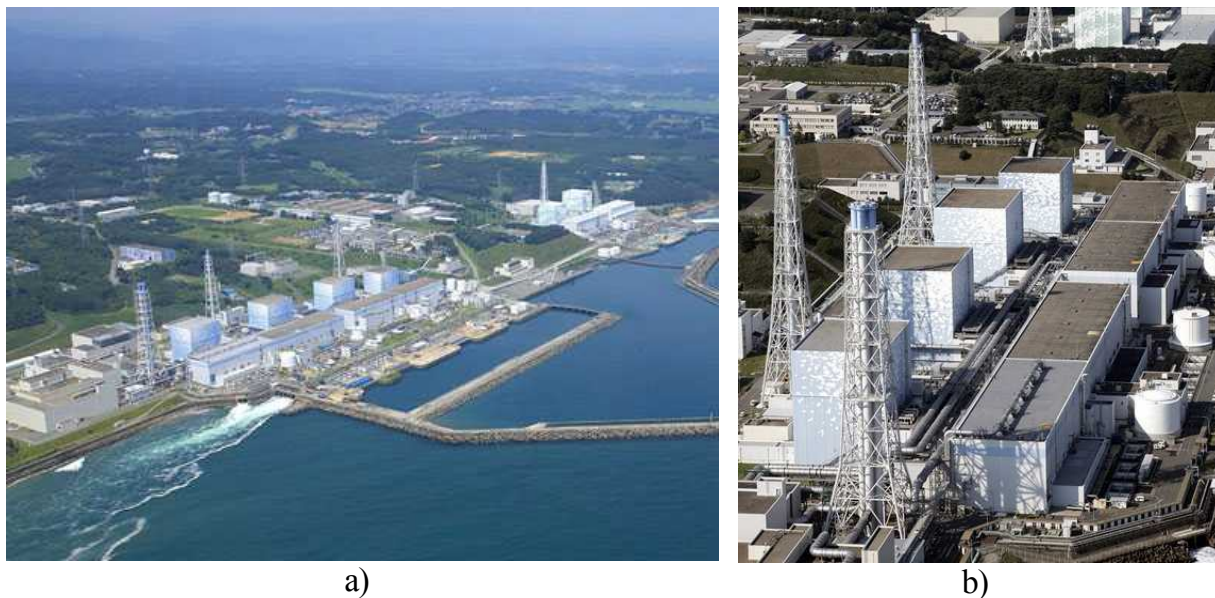
¹Pro srovnání: roční radiační zátěž obyvatel ČR je v průměru 3-4 mSv, rentgen plic odpovídá efektivní dávce přibližně 0,05 mSv, některá vyšetření pomocí CT mohou vést i k dávce vyšší než 10 mSv.

Poloha JE Fukušima a epicentrum zemětřesení jsou znázorněny na mapkách na obrázek 2.



Obrázek 2 Poloha JE Fukušima spolu s vyznačením epicentra zemětřesení, které následně vyvolalo extrémně vysoké vlny tsunami.

Pohled na neporušený jaderný komplex před zemětřesením je na následujících snímcích (obrázek 3).



Obrázek 3 JE Fukušima před havárií, a) celkový pohled na všech šest bloků (bloky č. 5 a 6 jsou napravo od prvních čtyř bolů), b) bloky č. 1-4.

1.3 SITUACE PO NEHODĚ

K nehodě došlo 11.3.2011, potom postupně k několika výbuchům, které narušily konstrukci reaktorových budov. Okamžik výbuchu, který se projevil na poškození reaktorových budov, je zachycen na obrázek 4.



Obrázek 4 Výbuch na JE Fukušima a na část poškozené budovy bloku 4 (fotografie pořízené 17.3.2011)

Sled události lze ilustrovat na jednotlivých situacích, ke kterým postupně docházelo na bloku č. 1 [5]:

- 11.3.** (14:46) Blok v provozu, automatické odstavení v okamžiku příchodu zemětřesení,
- 11.3.** (15:42) Úplná ztráta střídavého elektrického napájení,
- 11.3.** (16:36) Neschopnost havarijního systému chlazení aktivní zóny dodávat vodu do aktivní zóny,
- 12.3.** (01:20) Neobvyklý nárůst tlaku v primárním kontejnmentu,
- 12.3.** (10:17) Počátek odpouštění/odtlakování systému,
- 12.3.** (15:36) Exploze,
- 12.3.** (20:20) Počátek vstřikování mořské vody s bórem do aktivní zóny,
- 23.3.** (02:33) Množství vody vstřikované do aktivní zóny zvýšeno využitím potrubí napájecí vody spolu s požárním potrubím (z 2 m³/h na 18 m³/h),
- 23.3.** (09:00) Přepnuto pouze na potrubí napájecí vody (z 18 m³/h na 11 m³/h),
- 24.3.** (11:30) Obnoveno osvětlení hlavní blokové dozorny,
- 25.3.** (15:37) Počátek vstřikování sladké (ne mořské) vody,
- 29.3.** (8:32) Přepnuto na vstřikování vody do aktivní zóny prostřednictvím provizorních motorových čerpadel,
- 31.3.** (12:00) Převedení stojaté vody ze zásobních nádrží kondenzátorů do doplňovací nádrže primárního kontejnmentu (mokrě části),
- 31.3.** (13:03 ~ 16:04) Sprchování sladkou (ne mořskou) vodou pomocí čerpadel betonu na nákladních vozidlech.

První tři týdny po nehodě bylo hlavní snahou dostat pod kontrolu uvolňované teplo štěpných produktů v reaktorové nádobě a v bazénech vyhořelého paliva, o což se snažil nejen personál elektrárny, ale i další záchranné a pomocné složky. Bylo potřeba dosáhnout cíle i za cenu krajně nouzového řešení chlazení (včetně použití mořské

vody) a částečného odpouštění radioaktivních látek při vynuceném přepouštění z tlakové nádoby reaktoru a z primárního kontejnmentu.

2 RADIOLOGICKÉ DŮSLEDKY

2.1 ÚROVNĚ VNĚJŠÍHO ZÁŘENÍ

Příspěvek vnějšího záření k celkové efektivní dávce by se správně měl vždy vyjádřit pomocí veličiny prostorového dávkového ekvivalentu resp. příkonu prostorového dávkového ekvivalentu, které jsou udávány v jednotkách mSv resp. mSv/h. Bohužel, ne vždy se tento princip respektuje a občas výsledky měření jsou prezentovány jak dávka nebo dávkový příkon, přičemž se používají jednotky Sv, což může vést, a také často vede, k určitým nejasnostem a mnohdy i k chybám.

Podle informací Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB), který čerpá údaje z různých zdrojů (především pak z materiálů Japan Atomic Industrial Forum [6] a MAAE [7]), dávkový příkon měřený na západní hranici areálu jaderné elektrárny (West Gate) nezaznamenal od 30. 3. 2011 žádné výrazné výkyvy [8]. Z toho vyplývá, že v tomto období již nedošlo k žádným významným únikům radioaktivních látek z jaderné elektrárny do ovzduší. Dávkové příkony vně i uvnitř 30 km zóny od elektrárny jsou bez výrazných změn, opět mírné oboustranné kolísání kolem hodnot z včerejška, v některých místech mírný pokles. Nejvyšší hodnota byla naměřena na hranici 20 km zóny, cca 40 $\mu\text{Sv/h}$ (měření z 1. 5.). Ve vzdálenosti nad 50 km od elektrárny je úroveň vnějšího záření většinou blízko normálního radiačního pozadí.

Obdobně i dávkové příkony měřené v jednotlivých japonských prefekturách vykazují postupný pokles. Nejvyšší hodnoty oproti přírodnímu pozadí v Japonsku setrvávají v prefektuře Ibaraki (město Mito), kde byla 28. 4. v 09:00 naměřena hodnota 0,114 $\mu\text{Sv/h}$ (přírodní pozadí v Japonsku se pohybuje kolem 0,05-0,1 $\mu\text{Sv/h}$).

2.2 RADIOAKTIVNÍ KONTAMINACE

Denní spad I-131 (aktivita vypadlá za 24 hodin z atmosféry na 1m^2 terénu) se pohybuje ve většině prefektur pod hranicí detekce, v prefekturách sousedících s prefekturou Fukušima je maximálně v desítkách Bq/m^2 (nejvyšší hodnota byla dne 4. 4. zaznamenána v prefektuře Toschigi – 70 Bq/m^2 I-131 a 41 Bq/m^2 Cs-137). Vzhledem k fyzikální přeměně (za každých 8 dnů poklesne aktivita I-131 na polovinu) dochází k postupnému poklesu celkové kontaminace terénu.

Monitorování půd a porostů a povrchové vody je prováděno v 35 místech prefektury Fukušima. Nejvyšší koncentrace v půdách byly nalezeny 5 km jihozápadně od jaderné elektrárny. K 10. 4. 2011 byla měření vzorků půd doplněna pouze o několik měření z oblasti sever, severozápad a jihozápad od jaderné elektrárny ve vzdálenosti 5 – 50 km. Hodnoty jsou téměř beze změn. Pokračuje monitorování povrchových vod v měřicím místě cca 40km severozápadně od jaderné elektrárny, jehož výsledky ukazují mírný pokles.

Měření pitných vod v 47 prefekturách ukazuje, že hodnoty v jednotlivých prefekturách jsou již pod japonskými limity (kojenci 100 Bq/l, dospělí 300 Bq/l). Konzumace vody není kromě města Iitate-mura v prefektuře Fukushima, kde platí zákaz konzumace vody kojenci, nikde limitována.

V potravinách, zejména v čerstvé zelenině a v mléce, je stále nacházen jód a cesium, a to zejména v oblastech s vyšším spadem. Potravinové kontaminace jsou průběžně kontrolovány a není povolena jejich distribuce do obchodní sítě, pokud kontaminace překračuje stanovené limity.

Pokračuje monitorování obsahu jódu a cesia v mořské vodě v blízkosti jaderných elektráren Fukušima 1 a 2.

Zamoření obyvatel a zejména pak osob opouštějících místa v blízkosti jaderné elektrárny Fukušima se monitoruje citlivými detekčními čidly, která odhalí i sebemenší přítomnost sledovaných radionuklidů na povrchu těla nebo v šatech. Toto monitorování je však pouze relativní a v případě zjištění odezvy přístrojů nad rámec pozadí se provádí podrobnější měření (obrázek 5).



Obrázek 5 Monitorování za účelem identifikace radioaktivně zamořených osob (a), které, pokud se u nich zjistí zvýšená povrchová kontaminace, jsou odesílány na podrobnější vyšetření (b)

2.3 DOPAD NA ČESKOU REPUBLIKU

Situaci potenciálního vlivu jaderné havárie v Japonsku důsledně monitoruje Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB), který průběžně informuje obyvatele ČR. Ve svém prohlášení již několikrát zdůraznil (naposledy 5.5.2011 [x]): Na základě aktuálních informací SÚJB se vši zodpovědností prohlašuje, že žádný "radioaktivní mrak" ohrožující občany ČR neexistuje. Ve skutečnosti se jedná o stopová množství

radioaktivních látek unášená kolem země výškovým prouděním vzduchu, a to v takovém množství, že pokud budou vůbec u nás zaznamenána, pak na hranici citlivosti těch nejmodernějších přístrojů. Z toho jednoznačně vyplývá, že žádná opatření radiační ochrany není třeba přijímat ani celospolečensky, ani individuálně, a všechny obavy z ozáření obyvatel ČR jsou bezpředmětné.

Rozumným preventivním opatřením pro české občany nacházejících se v Japonsku v uvedených oblastech stále zůstává doporučení omezit všechny aktivity venku v terénu (např. sportovní, pracovní) a tím snížit dýchání zvířeného prachu z terénu. Pokud byl pobyt v prašném venkovním prostředí nezbytný, pak je vhodné použít nějaké roušky, ať již respirátory či jiné improvizované překrytí úst a nosu při dýchání. Co se týká režimu uvnitř budov, není třeba zvláštních opatření, pouze je vhodné věnovat větší pozornost očištění obuvi při vstupu, aby se bláto a prach zbytečně nezanášely dovnitř.

Českým občanům nacházejícím se v Tokiu a v oblastech severně od něj se však i nadále doporučuje sledovat oznámení místních orgánů týkajících se aktuálního stavu pitné vody. Pro naše občany nacházející se v dotčených oblastech Japonska stále platí důrazné doporučení vyhnout se potravinám neznámého původu, zejména čerstvé zelenině a mléku. O tom, že Japonci zavedli některá přísná opatření pro distribuci radioaktivně zamořeného mléka, svědčí záběr na obrázek 6, kde farmář se zbavuje takového mléka.



Obrázek 6 Japonský farmář se zbavuje zamořeného mléka

ZÁVĚR

I když 12. 4. 2011 došlo k přehodnocení události na Fukušimě ze stupnice MAAE (obrázek 7) z úrovně INES 5 na úroveň 7, o čemž by bylo možné polemizovat, jaderná havárie v Japonsku a její důsledky budou zřejmě daleko mírnější, než tomu bylo po černobylské havárii. Významnější radioaktivní zamoření se v současné době vyskytuje pouze v několika kilometrovém pásmu kolem elektrárny a má klesající tendenci.



Obrázek 7 Mezinárodní stupnice jaderných událostí, podle níž byla černobylská jaderná havárie klasifikována stupněm 7 jak těžká havárie

V současné době je mimořádně důležité spolehlivě, na základě podrobných a spolehlivých měření, vyhodnotit veškeré aspekty radiologických dopadů na obyvatelstvo a životní prostředí a na základě těchto údajů rozhodnout jak dekontaminovat okolí elektrárny a jak ji zabezpečit, aby z ní neunikaly žádné radioaktivní látky.

LITERATURA

- [1] Wikipedie: *Havárie Three Mile Island*; cs.wikipedia.org/wiki/Hav%C3%A1rie_Three_Mile_Island
- [2] Wikipedie: *Černobylská havárie*; cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cernobylsk%C3%A1_hav%C3%A1rie
- [3] Drábová, D.: *Jaderná energetika před černobylskou havárií a po ní*, Vesmír 85, březen 2006; www.vesmir.cz
- [4] Reaktor BWR; proatom.luksoft.cz/jaderneelektrarny/index.php?akce=reaktor&idtypbloku=12
- [5] Tinka, I.: *Fukushima Daiichi – tři týdny poté*, <http://www.klubpraha7.cz/?p=1807>
- [6] Japan Atomic Industrial Forum, Inc.: *Information on Status of Nuclear Power Plants in Fukushima*; www.sujb.cz/docs/JAIF_ENGNEWS01_1304394679P.pdf
- [7] IAEA: *Fukushima Nuclear Accident – An Update Log*; www.iaea.org/
- [8] SÚJB: *Aktuální informace k jaderné havárii Fukushima I*; sujb.cz/?c_id=1095

Příspěvek byl zpracován v rámci projektu Ministerstva školství, mládeže, tělovýchovy České republiky (NPV II 2B08001).

Článek recenzoval:
prof. Ing. Miloslav Seidl, PhD.



CRISIS SITUATIONS SOLUTION IN SPECIFIC ENVIRONMENT

The 17th International Scientific Conference
30th - 31st May 2012



We would like to inform you that the Faculty of Special Engineering of the University of Zilina organizes an international scientific conference called **Crisis Situations Solution in Specific Environment**.

The goal of the conference is to exchange the latest findings and practical experience of crisis management, persons and property protection and the tasks of human factors in crises situations.

Conference sections:

- Section No.1: **General Principles of Crisis Management**
- Section No.2: **Security Management – People and Property Protection**
- Section No.3: **Solution of Risks and Crises in Economic Environment**
- Section No.4: **Human Factor in Crisis Management**
- Section No.5: **Fire Protection and Rescue Services**
- Section No.6: **Transport in Crisis Situations**

For further information please visit our web page <http://fsi.uniza.sk/kkm/> or contact our secretary of the conference on e-mail: crisis@fsi.uniza.sk or by phone: +421 41 513 67 48.

We are looking forward to meet you in Zilina

*Faculty of Special Engineering, University of Zilina,
Ul.1.mája 32,
010 26 Žilina,
Slovak republic*