

ČESKÁ SPOLEČNOST PRO JAKOST

Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1

**Přínos mezinárodní
konference ESREL pro
spolehlivost**



**Materiály z 37. setkání
odborné skupiny pro spolehlivost**

Praha, listopad 2009



Česká společnost pro jakost, Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1
Přínos mezinárodní konference ESREL pro spolehlivost, Praha 19. 11. 2009



OBSAH:

ESRA – European Safety and Reliability Associationí Prof. Ing. Zdeněk Vintr, CSc.	5
Evropská konference o bezpečnosti a spolehlivosti ESREL 2009 – úspěšná prezentace ČR v Evropě i ve světě Radim Briš, VŠB TU Ostrava	14
Spolehlivost konstrukcí a nové evropské normy Jana Marková, Kloknerův ústav ČVUT v Praze	20
Spolehlivost lidského činitele jako jedno z hlavních témat konference ESREL 2009 RNDr. Jaroslav Holý, ÚJV Řež	27



Česká společnost pro jakost, Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1
Přínos mezinárodní konference ESREL pro spolehlivost, Praha 19. 11. 2009



Česká společnost pro jakost
Odborná skupina pro spolehlivost

ESRA

**European Safety and Reliability
Association**

prof. Ing. Zdeněk VINTR, CSc.

Fakulta vojenských technologií
UNIVERZITA OBRANY



Hlavní body přednášky

- 1. Historie ESRA**
- 2. Charakteristika a cíle ESRA**
- 3. Struktura ESRA**
- 4. Řízení činnosti ESRA**

1. Historie ESRA (1)

ESRA - European Safety and Reliability Association byla založena v roce 1990.

Původní cíle:

- vytvořit zázemí pro pravidelné organizování celoevropské konference zaměřené na problematiku spolehlivosti a bezpečnosti,
- vytvořit platformu pro výměnu informací a spolupráci v oblasti spolehlivosti a bezpečnosti.



1. Historie ESRA (2)

Historie (a budoucnost) konferencí ESREL

ESREL' 91 – Francie
ESREL' 92 – Dánsko
ESREL' 93 – Německo
ESREL' 94 – Francie
ESREL' 95 – Velká Británie
ESREL' 96 – Řecko
ESREL' 97 – Portugalsko
ESREL' 98 – Norsko
ESREL' 99 – Německo
ESREL' 00 – Velká Británie
ESREL' 01 – Itálie

ESREL' 02 – Francie
ESREL' 03 – Nizozemí
ESREL' 04 – Německo
ESREL' 05 – Polsko
ESREL' 06 – Portugalsko
ESREL' 07 – Norsko
ESREL' 08 – Španělsko
ESREL' 09 – Česká republika
ESREL' 10 – Řecko
ESREL' 11 - Francie

2. Charakteristika a cíle ESRA (1)

ESRA je:

- nezisková mezinárodní asociace pro rozvoj a technik bezpečnosti a spolehlivosti ve všech oblastech lidské činnosti,
- zastřešující organizace sdružující:
 - národní profesní společnosti,
 - průmyslové podniky,
 - vysokoškolské vzdělávací instituce,
 - individuální členy.

2. Charakteristika a cíle ESRA (2)

Cíle činnosti ESRA

- napomáhat vývoji technik bezpečnosti a spolehlivosti v předstandardizační fázi,
- ustanovit spolupráci a vzájemnou výměnu informací,
- podporovat formování národních profesních společností v rámci EU,
- prosazovat roli národních společností na národní a mezinárodní úrovni,
- podporovat harmonizaci vzdělávání, vzdělávacích standardů a technik v příslušné oblasti,

2. Charakteristika a cíle ESRA (3)

Cíle činnosti ESRA (pokračování)

- propagovat a sponzorovat konference, specializované semináře a workshopy,
- zajistit vydávání odborných publikací (zpravodaj, monografie, sborníky a relevantní technické publikace),
- podporovat transfer osvědčených praktik do rozvojových zemí,
- zavést systém čestných titulů a ocenění.

2. Charakteristika a cíle ESRA (4)

Výše členských příspěvků:

Vysokoškolské vzdělávací instituce	115 Euro
Profesní společnosti	345 Euro
Ostatní společnosti	575 Euro

Všichni zaměstnanci (členové) organizace požívají výhod členství v ESRA.

Každý člen ESRA může nominovat jednoho zaměstnance (člena) do každé technické komise ESRA.

3. Struktura ESRA (1)

Členská základna:

Národní pobočky ESRA:

- ESRA French Chapter,
- ESRA German Chapter,
- ESRA Italian Chapter,
- ESRA Polish Chapter,
- ESRA Portuguese Chapter,
- ESRA Spanish Chapter,
- ESRA UK Chapter.

3. Struktura ESRA (2)

Národní profesní společnosti:

- The Danish Society of Risk Assessment, Dánsko,
- SRE Scandinavian Reliability Engineers, Dánsko,
- ImdR-SdF, French Institute for Mastering Risks, Francie,
- ESRA Germany, Německo,
- RINA, Itálie,
- Polish Safety & Reliability Association, Polsko,
- Asociación Española para la Calidad, Španělsko,
- The Netherlands Society for Risk Analysis and Reliability, Nizozemí,
- The Safety and Reliability Society, UK.

3. Struktura ESRA (3)

Průmyslové podniky - 25 společností.

Vysokoškolské vzdělávací instituce – 56 univerzit:

- VŠB-TU v Ostravě (doc. Briš),
- Technická univerzita v Liberci (Ing. Fuchs),
- Univerzita obrany v brně (prof. Vintr),
- Kloknerův ústav ČVUT v Praze (prof. Holický).

Přidružení členové:

- Nuclear Consultants International , Jihoafrická republika,
- Universidad Central de Venezuela.

Individuální člen:

Prof. Daniel I. de Souza Jr., Brazílie.

3. Struktura ESRA (4)

Zastoupení jednotlivých zemí v ESRA

Španělsko	14	Řecko	3
Francie	13	Dánsko	2
Velká Británie	12	Finsko	2
Itálie	11	Švédsko	2
Portugalsko	11	Slovensko	2
Polsko	7	Belgie	1
Německo	6	Bulharsko	1
Norsko	5	Estonsko	1
Mimoevropské	4	Maďarsko	1
Rakousko	4	Rumunsko	1
Česká republika	4	Slovensko	1
Nizozemí	3	Švýcarsko	1

Celkem 112 členů

4. Řízení činnosti ESRA (1)

Nejvyšší orgán – General Assembly:

- schází se jednou ročně (zpravidla v rámci konference ESREL),
- každý člen ESRA má 1 hlas,
- rozhoduje o zaměření činnosti a finančních záležitostech,
- volí management asociace (ESRA Officers).

Výkonný management zajišťuje – Management Board:

- je tvořen:
 - ESRA Officers,
 - jeden delegát z každé země, kde existuje národní pobočka.

4. Řízení činnosti ESRA (2)

ESRA Officers:

Chairman

Ioannis Papazoglou, Řecko

Vice-Chairman

Sebastián Martorell, Španělsko

General Secretary

Pieter van Gelder, Nizozemí

Treasurer

Christophe Bérenguer, Francie

Past Chairman

Carlos Guedes Soares, Portugalsko

4. Řízení činnosti ESRA (3)

Komise:

Komise pro konference (Standing Committee for Conferences):

- formuluje požadavky na formát, zaměření a organizaci konferencí ESREL,
- předává zkušenosti organizátorům konference,
- členové jsou všichni předsedové již konaných konferencí.

Komise pro publikace (Standing Committee for Publications):

- dohled nad vydáváním ESRA Newsletter,
- podpora vydávání Reliability Engineering and System Safety Journal.



4. Řízení činnosti ESRA (4)

Technické komise

Technologický sektor

- Aeronautics and Aerospace
- Critical Infrastructures P
- Energy Production and Distribution
- Information Technology and Telecommunications
- Manufacturing
- Nuclear Engineering
- Offshore Safety
- Safety in the Chemical Industry
- Safety in Civil Engineering
- Safety of Land Transportation
- Safety of Maritime Transportation
- Safety from Natural Hazards

4. Řízení činnosti ESRA (5)

Metodologie

- Accident and Incident Modeling
- Decision Support Systems for Safety and Reliability
- Fault Diagnosis
- Human Factors in Safety and Reliability
- Integrated Risk Management
- Maintenance Modeling and Applications
- Mathematical Methods in Reliability and Safety
- Occupational Safety
- Quantitative Risk Assessment
- Safety Management
- Software Reliability and Security
- Stochastic Modeling and Simulation Techniques
- Structural Reliability
- System Reliability
- Uncertainty and Sensitivity Analysis

<http://www.esrahomepage.org>

Evropská konference o bezpečnosti a spolehlivosti ESREL 2009 - úspěšná prezentace ČR v Evropě i ve světě

Radim Briš,

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava



General chairman



Úvod

ESREL (European Safety and Reliability) je každoroční vědecká konference o průmyslové bezpečnosti a spolehlivosti, která vzešla z iniciativy Evropské asociace pro bezpečnost a spolehlivost ESRA (European Safety and Reliability Association). Konference probíhá již od roku 1989, získala si pozornost významných mezinárodních vědeckých komunit a je dobře známa po celém světě. Dává dohromady optimálně sestavené skupiny akademiků, jakož i průmyslových výzkumníků a manažerů, kteří prezentují a diskutují předměty svého výzkumu s aplikacemi napříč různými průmyslovými odvětvími.

V letošním roce bylo hlavním tématem konference následující, poměrně obecné propojení: „Spolehlivost, riziko, bezpečnost: teorie a aplikace“. Konference pokrývá velké množství témat v rámci spolehlivosti, rizika a bezpečnosti, mezi něž patří jednak analytické metody pro ocenění rizika a spolehlivosti, dále různé optimalizační metody zejména v kontextu s údržbou, ale také metody zaměřené na studium a ocenění lidského faktoru, jakož i metody pro řízení rizika, atd. Oblast aplikací je velmi široká a neustále se rozšiřuje: od jaderného inženýrství, přes ropný a plynářský průmysl, elektrotechniku, stavebnictví, ale také ICT, bezpečnost v dopravě všeho druhu, jakož i studium rizik v biomedicíně, atd. Konference poskytuje fórum pro prezentaci a diskusi vědeckých výsledků a článků jednak z oblasti teorie a aplikací, zároveň však v úzké návaznosti na široké spektrum problematických průmyslových oblastí. V letošním roce byla významná pozornost rovněž věnována sociálním

faktorům ovlivňujícím metody pro vyhodnocení rizik a spolehlivosti. Široká demonstrace použití rizikových analýz a ocenění a vyhodnocení bezpečnosti byla poskytnuta v mnoha praktických aplikacích, zahrnujících obrovské technologické systémy a struktury.

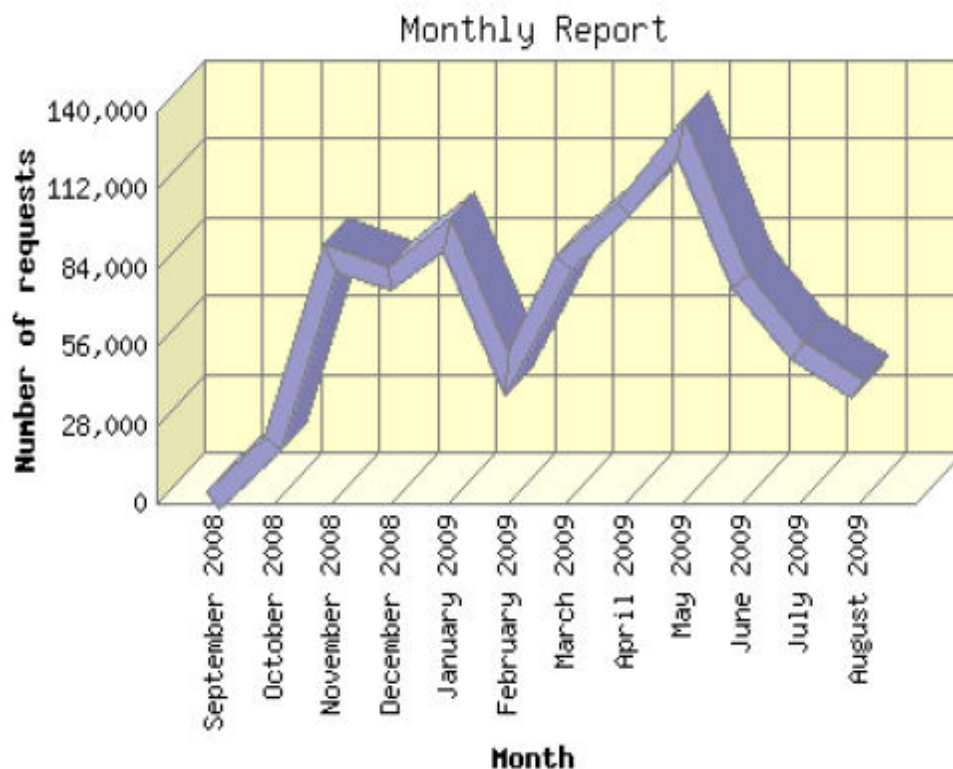
Průběh a hlavní body konference Esrel 2009

Konference Esrel se v letošním roce konala poprvé v České republice, která byla vybrána na základě tendru ESRA jako vítěz ze tří uchazečů o toto prestižní pořadatelsví. Tento výběr jistě nebyl náhodný, zejména s ohledem na řadu významných vědeckých výsledků, kterých dosáhli výzkumníci ČR v oblasti studia bezpečnosti a rizik. V současné době např. v ČR kulminuje velký grantový projekt 1M06047 Centrum pro jakost a spolehlivost výroby, jehož se účastní 8 výrazných vědeckých institucí a vysokých škol z celé ČR (jmenujme alespoň ČVUT Praha, VŠB TU Ostrava, VUT Brno, TU Liberec, AV ČR, atd.).

Hlavní pořadatelskou hostitelskou institucí pro Esrel 2009 byla Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, za kterou se o pořadatelsví ucházel Radim Briš, dlouholetý člen ESRA. Konference probíhala pod záštitou rektora této instituce Prof. Ing. Tomáše Čermáka, CSc., který rovněž pronesl jeden ze zahajovacích projevů. S ohledem na celosvětový význam této konference, nadstandardní počet návštěvníků, tím i hotelové zabezpečení, byla vybrána Praha jako hlavní místo pro konání této konference. Optimální poloha Prahy v srdci Evropy, optimální cestovní dosažitelnost, jakož i atraktivní historické prostředí jistě výrazně přispěly k celkové úspěšnosti konference.

Zájem o konferenci rostl v průběhu celého roku příprav, tj. od července 2008 do září 2009. K účasti formou ústní prezentace bylo přihlášeno téměř 550 abstraktů. V důsledku dobře organizovaného oponentního řízení (3 anonymní oponentní posudky na každý plný příspěvek) bylo nakonec vybráno a schváleno k prezentaci asi 340 referátů. Oponentní řízení bylo vedeno za pomoci asociace ESRA, která má průběžně nominovány zodpovědné garanty za všechny tematické okruhy a tito jsou pak zodpovědní za přijetí referátů pro prezentaci. Jedná se však většinou o neplacenou aktivitu a v některých situacích příslušný garant prostě nereaguje. V takovém případě pak plní tuto funkci hlavní chairman konference. Celý oponentní proces je řízen elektronicky prostřednictvím webovské stránky konference s dobře zajištěnými přístupovými právy jednotlivých účastníků celého procesu (autoři referátů, oponenti, garanti tematických okruhů, členové technického výboru programu, členové organizačního výboru, atd.). Elektronický systém pro oponentní řízení byl vyvinut v průběhu Esrelu 2006 v Estorilu v Portugalsku a od té doby je systematicky zdokonalován za řízení managementu ESRA.

Webová stránka konference www.esrel2009.org zaznamenala za 11 měsíců 826.648 návštěv, provedených počtem 9.070 návštěvníků z asi 80 různých zemí světa. Počty návštěv v jednotlivých měsících dobře vystihují jak termíny pro zaslání abstraktů, tak i plných verzí příspěvků, což přináší následující obrázek č.1.



Obrázek č.1: Počet návštěv webovské stránky konference v jednotlivých měsících

Jednání konference probíhalo v šesti paralelních sekcích, tematicky dobře strukturovaných, zejména s ohledem na to, aby nedocházelo k paralelizaci blízkých témat a okruhů. Největšímu zájmu se tradičně těší na této konferenci oblasti, které se přímo či nepřímo dotýkají problematiky analýzy rizik a nebezpečných havarijních situací. Ať už je to v podobě integrace rizika do procesu rozhodování, či samotné rozhodování pod tíhou rizika. Dalšími nosnými tématy konference bylo jednak „Modelování a optimalizace údržby“, jehož význam roste rok od roku a stává se téměř fenomenálním tématem konference, dále pak již tradiční a svým způsobem obecné téma „Systémová analýza spolehlivosti“ a konečně také nově a razantně se vyvíjející téma „Lidský faktor“ a jeho úloha v analýzách rizik a spolehlivosti. Nadstandardní pozornost byla věnována rovněž problematice „Analýzy nejistot a citlivostních analýz“, jakož i všem aspektům, spojeným s analýzou a vyhodnocením spolehlivostních dat („Sběr a analýza bezpečnostních a spolehlivostních dat“, „Bayesův přístup pro zpracování spolehlivostních dat“, apod.). Zazněly i zajímavé přednášky z oblasti strukturní spolehlivosti, kde zájem o tuto problematiku měl spíše klesající tendenci v porovnání s minulými lety. Teprve nedávno byla implementována na konferenci tohoto typu nová a spíše netechnická témata, jako je zaměstnanecká bezpečnost a organizace pracovní bezpečnosti, které si teprve hledají větší prostor na konferenci.

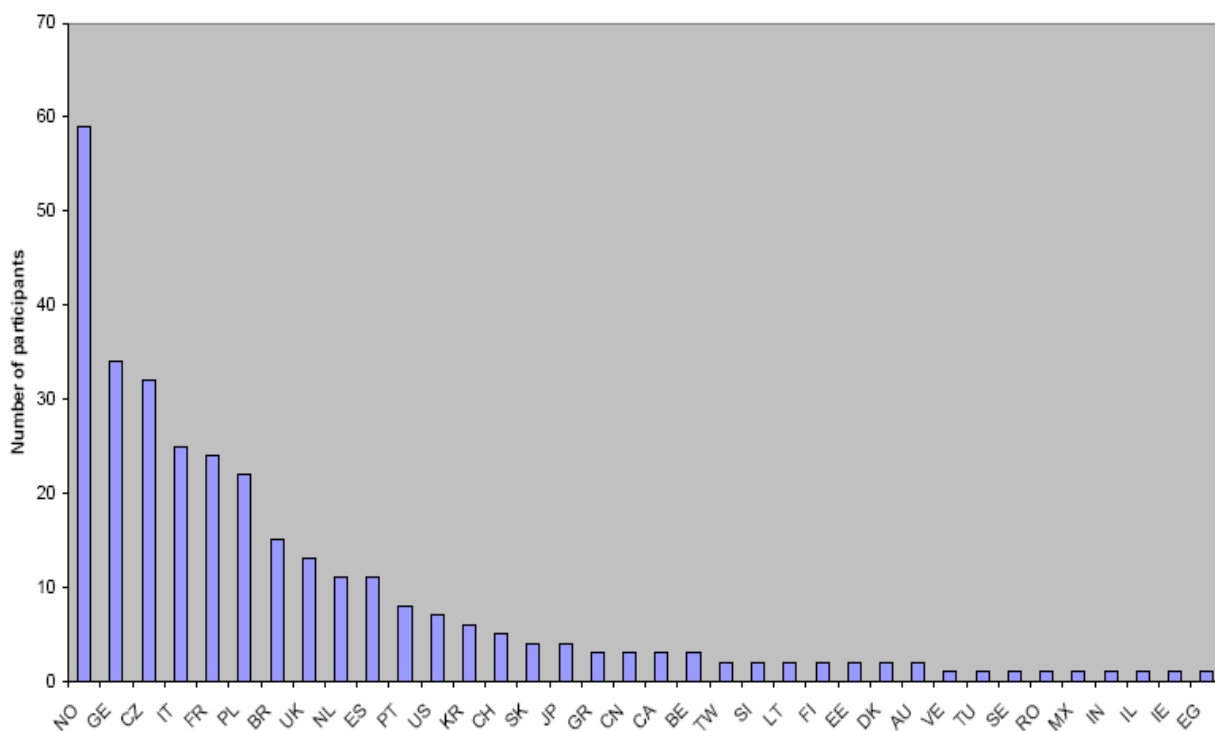
Z hlediska aplikačního zaměření byla největší pozornost věnována silovým rezortům zejména z oblasti jaderného inženýrství a rozvodu a distribuce energie, jakož i z oblasti těžby a produkce ropy a zemního plynu (silné zastoupení badatelů z Norska). Nově je v posledních 2-3 letech velká pozornost věnována tématu „Kritické infrastruktury“, zejména v kontextu s nebezpečím teroristických útoků. Stejně je tomu i v oblasti dopravy všeho druhu (železniční, silniční, námořní, letecké). Konečně stabilní pozici zaujímá oblast ICT (8 referátů).

Vyvrcholením konference byly tři zvané klíčové přednášky, které byly lákadlem pro většinu účastníků konference. V první přednášce měli účastníci možnost vyslechnout základní

i nové integrující poznatky vztahující se k dynamickému přístupu ve spolehlivostních systémových analýzách, prezentované Profesorem P.-E. Labeau z Université Libre de Bruxelles, Service de Métrologie Nucléaire. Dynamická spolehlivost zahrnuje studium stochastických procesů (a jejich interakce s procesy deterministickými), které popisují dynamiku systému, kdy důraz je kladen zejména na poruchy charakterizované vystoupením nějaké procesní proměnné z bezpečné domény. Jedná se o zcela nový přístup k otázkám spolehlivosti, přičemž je zřejmé, že většina průmyslových systémů je dynamických. Další z klíčových přednášek byla věnována moderním trendům pro identifikaci degračních mechanismů a mikrovad ve struktuře elektronických součástek, zvaným přednášejícím byl dlouholetý badatel v této oblasti Profesor Josef Šikula z VUT Brno, který se desítky let věnuje studiu defektů v mikroelektronických strukturách na bázi šumové diagnostiky. Poslední klíčová přednáška byla zařazena na čtvrtek 10.9. a byla věnována otázkám využití zrychlených zkoušek spolehlivosti pro účely predikce výrobní provozní spolehlivosti, autorem byl Profesor William Q. Meeker, Department of Statistics, Center for Nondestructive Evaluation, Iowa State University. V ní zaznělo mnoho zajímavých poznatků z dlouhodobých vědeckých výzkumů na toto téma, zejména v kontextu porovnání skutečných (data z praktického nasazení) a zrychlených degračních mechanismů.

Z hlediska zastoupení zemí, z nichž pocházeli účastníci konference je zajímavá vysoká účast z Norska (59), ČR jako pořadatelská země měla 32 účastníků, což je největší dosavadní účast v historii a jistě je to i dobrým výsledkem práce lokálního organizačního výboru. Kuriozitou je například vysoká účast z daleké Brazílie (15 účastníků). Celkově se konference účastnilo 36 zemí z celého světa. Participace jednotlivých zemí je dobře viditelná z následujícího obrázku č.2.

States representation on ESREL 2009



Obrázek č.2: Počet účastníků z jednotlivých zúčastněných 36 zemí světa

Konferenční večeře byla naplánována na úterý 8.9. Konala se ke spokojenosti účastníků v historickém prostředí v hlavním sále na Žofíně za doprovodu profesionálního jazzového hudebního tělesa. V úvodu měli účastníci možnost vyslechnout krátký proslav o historii a vzniku této vyhledávané historické neorenesanční stavby. Vzácnost okamžiku (nejen konferenční večeře) vynikla tím spíše, že celý průběh konference byl doprovázen teplým a slunným počasím v duchu babího léta.



Závěr konference byl charakterizován snahou pořadatelů poskytnout účastníkům krátké nahlédnutí do blízkosti prostředí českého průmyslu. Ve čtvrtek 10.9. byla zorganizována návštěva Ústavu jaderného výzkumu v Řeži včetně krátké prohlídky reaktoru, v pátek 11.9. měli účastníci možnost shlédnout hlavní dominantu jaderného průmyslu v ČR – Jadernou elektrárnu Temelín (podrobná exkurze trvající několik hodin), v rámci celodenního autobusového zájezdu do Jižních Čech. Přitom někteří účastníci měli možnost volby mezi JE Temelín a prohlídkou zámku Hluboká.

Shrnutí, závěry, přínos konference

Celkově lze konstatovat, že konference Esrel 2009 v Praze byla velmi úspěšná. Během celého průběhu konference nedošlo k jedinému konfliktu, či nedorozumění, nebyla zaznamenána jediná stížnost v souvislosti s průběhem konference, spíše naopak pořadatelé byla zaregistrována spousta slov uznání a ocenění v souvislosti s průběhem konference, či organizací sekcí. Úspěšnost konference a spokojenost účastníků úzce souvisí s výběrem místa konání konference. Konference se konala v novém luxusním konferenčním a kongresovém centru *Clarion Congress Hotel Praha*, který leží v moderní čtvrti Vysočany, jen 15 minut od historického centra Prahy, se stanicí metra přímo v přízemí hotelu. Mezinárodní čtyřhvězdičkový *Clarion Congress Hotel Praha* je moderním kongresovým centrem usilující o co největší komfort svých hostů a nabízející nejvyšší úroveň zajišťování konferencí. Jelikož cena ubytování nebyla přemrštěná v souvislosti s ubytovacími možnostmi na Esrelech v minulých letech, většina účastníků mohla využít komfortu spojeného s ubytováním i konáním konference na jednom místě. V tomto smyslu lze konstatovat, že tato konference

v Praze se zařadila mezi nejlépe organizačně zvládnuté akce tohoto typu v celé historii konání této každoroční události. ČR se navenek (před zraky celého odborného publika ve světě) projevila jako schopná a úspěšná v souvislosti s uspořádáním takovéto světové akce navzdory tomu, že rozhodnutí o pořadatelsví padlo poměrně pozdě (jaro 2008).

Konference Esrel poskytují nejen každoroční přehled o vědeckých výsledcích zúčastněných špičkových výzkumníků v oblasti průmyslové bezpečnosti a spolehlivosti, nýbrž také stanovují jakési nové směry, jimiž se vědecké poznatky v tomto kontextu ubírají. V letošním roce zazněla řada kvalitních referátů, a jen těžko lze vyčlenit nějaké zásadní nové milníky směrem k dalšímu vývoji v těchto otázkách. Ve všech sekcích bylo možno identifikovat jednak nové klíčové poznatky, ale i velmi zdařilé aplikace a rozšíření poznatků z dřívější doby. Otázka určení nových směrů je tudíž spíše individuální záležitostí každého z účastníků a jen těžko ji lze nějak blíže zobecnovat. Pokud bychom přesto chtěli něco vyzvednout, coby zvláštnost pražského summitu, je zde patrný zvýšený zájem o analýzu a zachycení lidského faktoru, coby významného faktoru ovlivňujícího průmyslovou bezpečnost a spolehlivost. Problematika byla důkladně diskutována ve 4 po sobě jdoucích sekcích a byla velmi dobře zorganizována (metodika, data, dynamické simulace & modelování, aplikace). Další nové trendy byly naznačeny v klíčových plenárních přednáškách, jako je problematika dynamické spolehlivosti a její matematická formulace, či podchycení a zpracování skutečných degradačních mechanismů vysoce spolehlivých objektů. Podobně jako v minulých letech stále vysokou důležitost si drží otázka integrace rizika do rozhodování zejména v kontextu s distribučními sítěmi elektrické energie a také otázky spojené s optimalizací údržby (zejména podmíněná údržba, optimalizace nákladů, preventivní údržba s nejistotami, atd.).

Skutečnost, že konference proběhla v Praze, přispěla nejen ke zvýšené účasti výzkumníků ČR na samotné konferenci, ale i k větší propagaci této problematiky na akademické půdě ČR. Nové poznatky, které na konferenci zazněly, představují potenciál, který dá jistě podnět k rozšíření, či zavedení takovýchto témat výzkumu v ČR. Rostoucí počet účastníků konference je důkazem toho, že navzdory nepříznivé finanční situaci v celém světě, problematika okolo studia a řízení rizik a spolehlivosti je velmi aktuální a přitahuje výzkumníky jak z akademické obce, tak i z průmyslu.

Spolehlivost konstrukcí a nové evropské normy

Markova Jana
Kloknerův ústav ČVUT v Praze

- Spolehlivostní metody a jejich aplikace
- Analýza spolehlivosti konstrukcí navržených podle Eurokódů
- Ověřování spolehlivosti existujících mostů
- Modely zatížení, parametry odolnosti, modelové nejistoty
 - vítr, teplota
 - zatížení silniční dopravou
 - degradační procesy
 - mimořádná zatížení

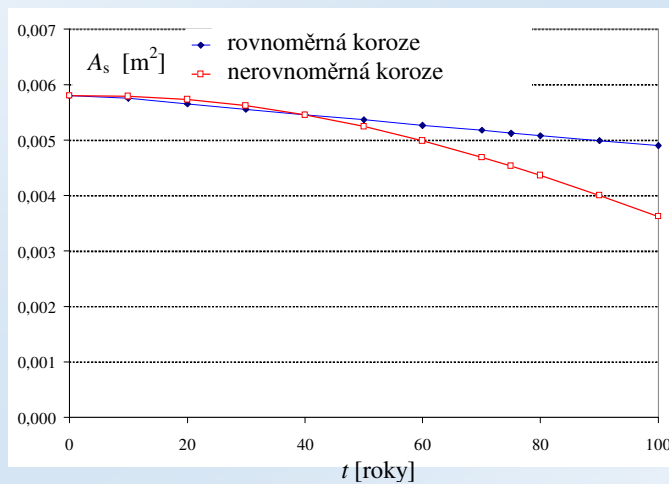
Spolehlivostní metody a jejich aplikace

- Metoda dílčích součinitelů - Eurokódy
 - polopravděpodobnostní přístup
 - dílčí součinitele a další prvky spolehlivosti, nutnost harmonizace
- Pravděpodobnostní metody – Eurokódy a ISO normy
 - pravděpodobnostní modely základních veličin
 - modelové nejistoty
 - metodické postupy (metody simulační, aproximativní)

Příspěvky z oblasti stavebnictví na ESREL 2009

- A RSM method for probabilistic non-linear analysis of reinforced concrete bubbler tower structure integrity, Králík J.
- Artificial neural network in probabilistic assessment of strength of thin imperfect plates, Sadovský Z., Soares C.
- Assessment of deteriorating reinforced concrete road bridges, Holický M., Marková J., Sýkora M.
- Deterministic and probabilistic analysis of nonsymmetrical wind effects to symmetrical high rise buildings, Králík J.
- Eurocode road traffic load models for weight restricted bridges, D. Proske, S. Loos
- Investigation of parameters influences in wind induced structural reaction analysis due to structural model dimensions changes, Bombasaro E.
- Models of thermal actions for bridges, Marková J.
- Probabilistic approaches in the safety analysis of road piers of annular cross-section, Kudzys A., Kliukas R.
- Probabilistic assesment of crack width for existing bridges, Marková J., Holický M.
- Probabilistic safety redesigning of existing structures, Bulota P., Kudzys A.
- Structural design from design to manufacture, Elebegde C.
- Updating of safety level for concrete elements after conformity control, Caspeeel R., Taerwe L.
- Using the Direct Determined Fully Probabilistic Method for Determination of Failure, Janas A., Krejsa M., Krejsa V.

Pravděpodobnostní hodnocení existujících mostů



Úbytek plochy výztuže vlivem degračních procesů

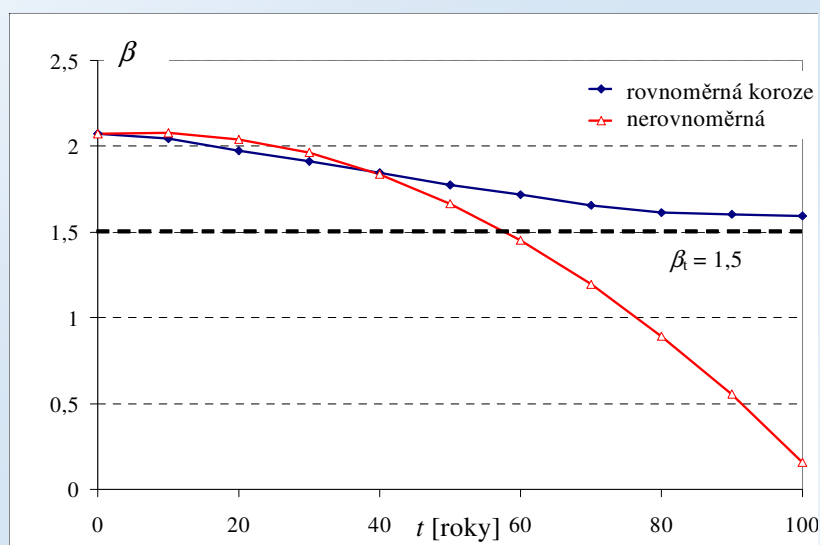
Kritéria podle ČSN 73 6222

Zatížitelnost mostů pozemních komunikací

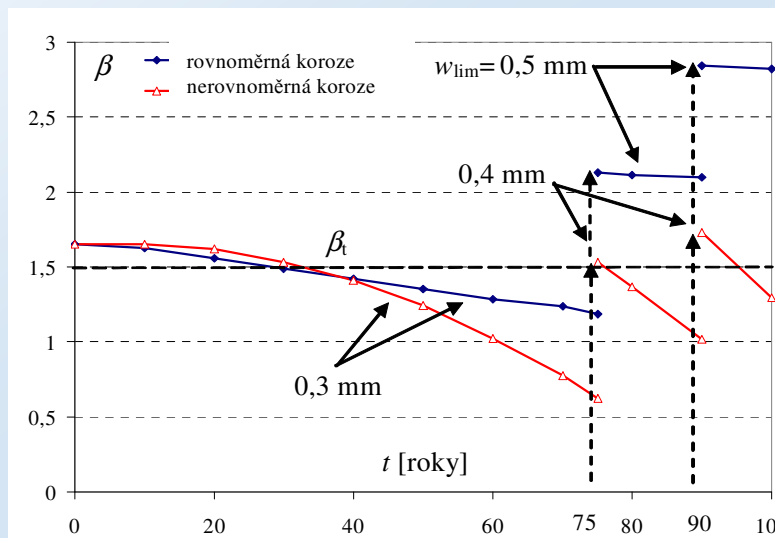
Zbytková doba životnosti (v letech)	Předem předpjaté mosty	Dodatečně předpjaté mosty s kabely		Železobetonové mosty
		soudržné	nesoudržné	
50	B - 0,2 mm	C	D	E - 0,3 mm
25	C - 0,2 mm	D	E	F - 0,4 mm
10	D - 0,2 mm	E	F	G - 0,5 mm

Hodnocení zbytkové životnosti mostu.

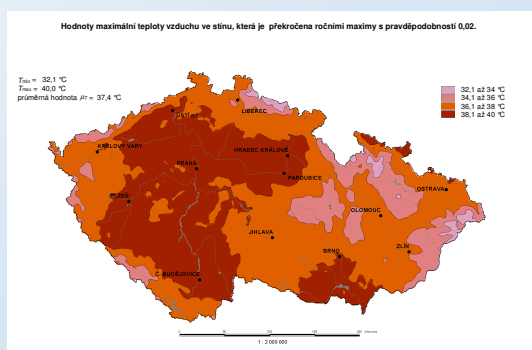
Hodnocení spolehlivosti mostu



Úroveň spolehlivosti degradujícího mostu s ohledem na kritéria v ČSN 73 6222

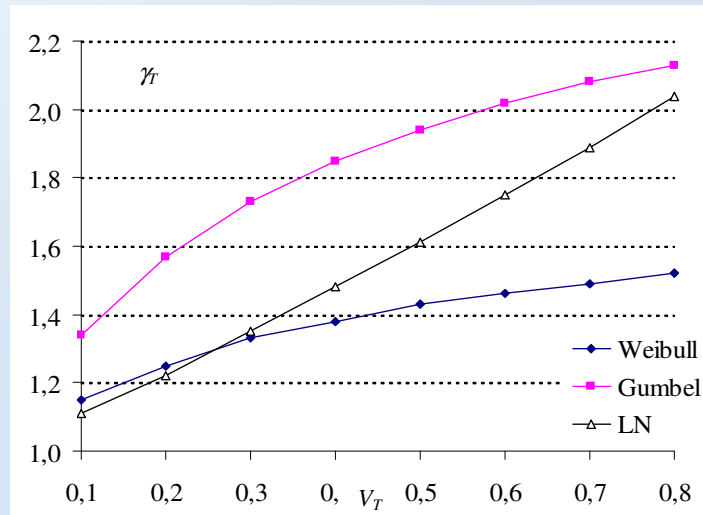


Modely zatížení mostů teplotou

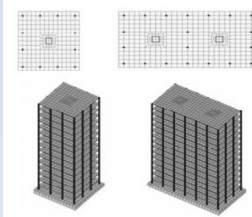
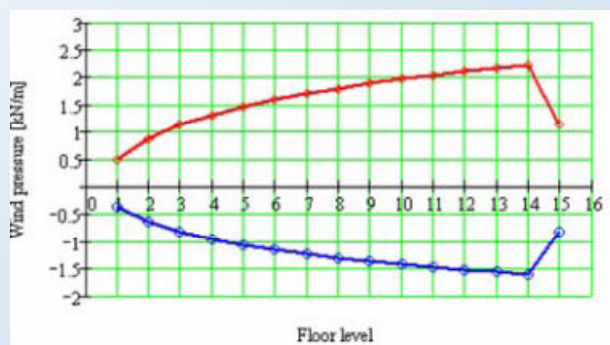


Nové evropské definice charakteristických hodnot klimatických zatížení

Pravděpodobnostní analýza dílčích součinitelů pro zatížení teplotou

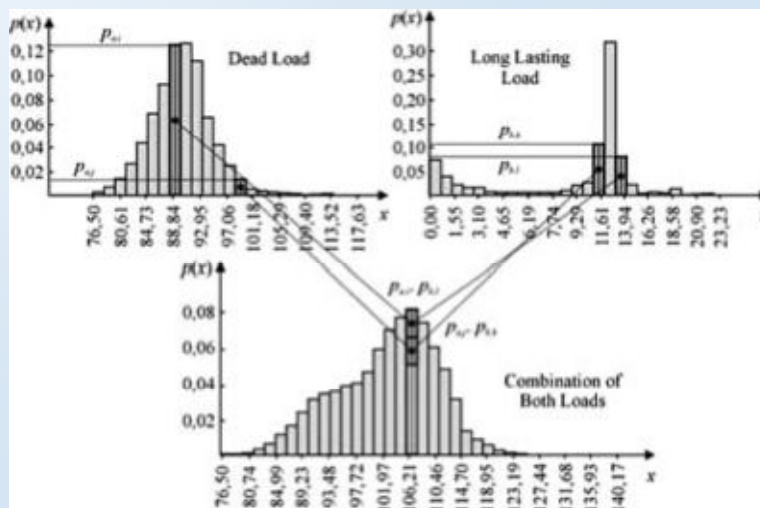


Zatížení větrem u vysokopodlažní budovy



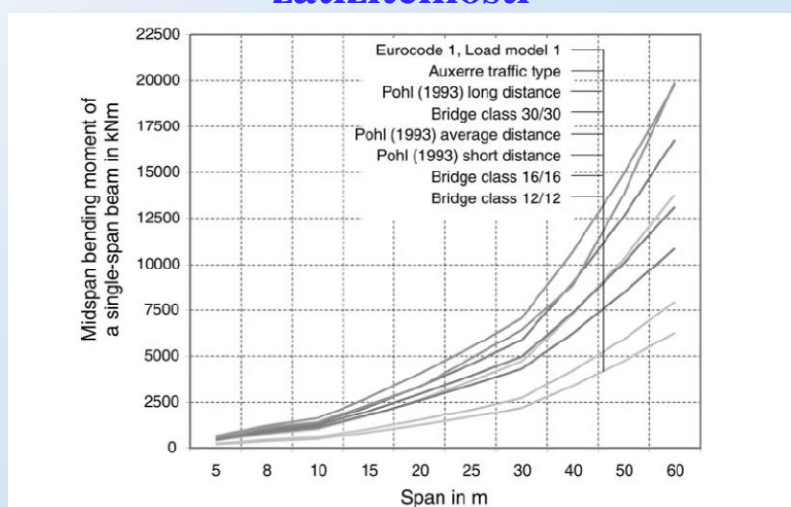
Tlaky na stěny budovy.

Pravděpodobnostní metoda DDFPM



Stanovení odolnosti konstrukce a účinků zatížení.

Zatížení dopravou u mostů s omezenou zatížitelností



Max. ohybový moment mostu od zatížení dopravou podle různých zdrojů.

Závěrečné poznámky

1. Konference Esrel 2009 ukázala význam pravděpodobnostních metod pro zpřesňování modelů zatížení a odolnosti staveb. Tyto metody lze s výhodou použít pro ověřování existujících konstrukcí zasažených degračními vlivy.
2. Pravděpodobnostní metody umožňují porovnání úrovní spolehlivosti různých typů konstrukcí a kalibrace dílčích součinitelů zatížení a dalších prvků spolehlivosti.
3. Pořádáním konference Esrel v Praze byla umožněna širší účast naší odborné veřejnosti. Zájem o pravděpodobnostní metody a metody hodnocení rizik ve stavebnictví stále vzrůstá.

Spolehlivost lidského činitele jako jedno z hlavních témat konference ESREL 2009

RNDr. Jaroslav Holý, Ústav jaderného výzkumu Řež

1. Úvod

Současný provoz moderních technologií ve světě je typický důrazem na zajištění bezpečnosti a spolehlivosti. Obsluha technologie hraje spolu s managementem klíčovou roli při řízení provozu, organizování a inženýrské podpoře procesů zde probíhajících, údržbě a testech zařízení a vytváření obecné perspektivy a vize naplnění účelu každé moderní technologie. Tento závěr není nijak oslaben ani pokračujícím procesem automatizace, protože s ní sice dochází k jistému posunu uplatnění role lidského prvku, ale zapojení člověka do procesu řízení si svůj význam uchovává. Zvyšování spolehlivosti a bezpečnosti provozu se proto nemůže obejít bez detailní analýzy spolehlivosti lidského činitele a zformulování, přijetí a realizace opatření vzniklých na jejím základě.

Význam obsluhy pro zajištění spolehlivosti a bezpečnosti provozu technologie byl chápán a zdůrazňován v celé historii těch technologických oborů, které jsou rozvíjeny a provozovány na poměrně vysoké úrovni přítomného rizika, jako jaderné energetiky, letectví, těžbě ropy a dalších. Existuje řada jednotlivých témat a oblastí **projevů** lidského faktoru a vytváření co nejlepších **podmínek** pro kvalitní, spolehlivou a bezpečnou práci obsluhy, které jsou již po několik dekád intuitivně chápány jako důležité a zvládnány k relativní spokojenosti, jako například výběr zaměstnanců, jejich výcvik a vzdělávání, rozdělení funkcí a odpovědnosti nebo tvorba kvalitního, uživatelsky přátelského prostředí pro interakci pracovníků řídících on-line provoz s komponentami technologie.

Moderní technologie je však často nesmírně složitý organismus a celosvětová provozní zkušenost, například v oblasti jaderné energetiky, postupně přináší závažné příklady toho, že ani velmi dobré zvládnutí všech intuitivně vytipovaných oblastí zajištění kvalitní práce obsluhy nemusí přinést dostatečnou míru prevence výskytu mimořádných poruchových stavů s těžkými potenciálními následky, na nichž se lidský faktor podílí výraznou měrou. Proto je hledán, a to nikoli pouze z pohledu práce obsluhy, ale v širším záběru řešení všech otázek spolehlivosti a bezpečnosti celé technologie, prostředek co nejobjektivnějšího spojení všech podstatných složek zajištění spolehlivosti a bezpečnosti do jediného integrovaného modelu, umožňujícího co nejlépe postihnout všechny podstatné souvislosti a interakce, identifikovat pokud možno všechny scénáře narušení bezpečnosti a definovat priority pro vyrovnání se s nimi dle jejich očekávané závažnosti. Jako nástroj pro zvládnutí této náročné úlohy byly vybrány a jsou rozvíjeny metody pravděpodobnostního hodnocení bezpečnosti (*probabilistic safety assessment*, PSA), které jsou v oblasti formulování doporučení k organizačním a technickým procesům v technologii probíhajícím transformovány do výstupů stimulujících a podporujících rizikově orientované rozhodování.

Tento příspěvek se věnuje uplatnění metod analýz spolehlivosti lidského činitele při organizování provozu moderních současných technologií pracujících na relativně vysoké úrovni rizika. **V kapitole 2** je toto téma spojeno s hlavním tématem semináře, pro nějž je příspěvek určen - jednou z největších světových konferencí k tématům spolehlivosti, ESREL 2009, kterou hostila Praha a Česká republika. Náplň kapitoly 2 rekapituluje a shrnuje zastoupení problematiky lidského faktoru v příspěvcích na konferenci. Na kapitolu 2 navazuje v **kapitole 3** obecná charakteristika začlenění lidského elementu do těch spolehlivostních a rizikových modelů technologie, ve kterých se při integraci problematických aspektů bezpečnostní složky uplatňuje koncept rizika, využívající jako univerzální matematický nástroj pravděpodobnostní míru. **Kapitola 4** stručně shrnuje celosvětovou historii uplatnění metod analýzy spolehlivosti lidského činitele a **kapitola 5** přináší shrnutí a některé doplňující komentáře.

2. Spolehlivost lidského činitele a řešení problematiky lidského faktoru na konferenci ESREL

Mezinárodní konference ESREL, která je pravděpodobně největší pravidelnou celosvětovou událostí v oboru analýzy spolehlivosti a která byla právě letošním ročníkem uskutečněna v Praze záměrně tématicky propojena s fundamentálními navazujícími pojmy bezpečnosti a rizika, se samozřejmě nemohla aktuálnímu tématu lidské spolehlivosti při provozu moderní technologie vyhnout. Otázky lidské spolehlivosti byly speciálně řešeny ve čtyřech speciálních sekcích Human factors I - IV, kde bylo předneseno celkem 17 příspěvků od autorů z celého světa, a byly implicitně přítomné i v řadě příspěvků a v diskusích v sekcích primárně tématicky zaměřených na další aspekty metodologie a aplikací analýzy spolehlivosti a bezpečnosti. Česká republika byla v oblasti analýzy lidského faktoru zastoupena příspěvkem autorů z ÚJV Řež "An overview of experience gained in long term applications of HRA in PSA projects for WWER reactors" prezentovaném v sekci "Human factors III" a vedením sekce "Human Factors IV".

Orientaci příspěvků v tématických sekcích Human Factors lze hodnotit z více hledisek - například příslušnosti ke konkrétnímu technologickému oboru, orientace na konkrétní dílčí oblast analýzy spolehlivosti lidského činitele nebo metodologického zařazení prezentovaných postupů. Pokud jde o příslušnost k technologickému zaměření, převládaly na konferenci v uvedených sekcích tradičně příspěvky svázané s jadernou energetikou, ale jejich počet již nedosáhl ani jedné poloviny, což prokazuje, že se metody analýzy spolehlivosti lidského činitele prosazují i v dalších oborech. Zbytek příspěvků pokrýval víceméně rovnoměrně převážnou většinu moderních technologií pracujících na měřitelné úrovni rizika. Konkrétně byly příspěvky k tématice lidského faktoru a lidské spolehlivosti rozděleny následovně:

- **jaderná energetika**, provoz jaderných elektráren - 8 příspěvků
- **těžba surovin** - 3 příspěvky (z toho těžba ropy 2 příspěvky, těžba plynu 1 příspěvek)
- **doprava a transport** - 3 příspěvky (z toho železniční doprava, lodní doprava a letecká doprava po jednom příspěvku)
- **systémy včasných varování** - 1 příspěvek
- ve vztahu k technologii **tématicky nevyhraněný** - 2 příspěvky.

Z pohledu obecně metodického se příspěvky k problematice lidského faktoru a spolehlivosti rozdělily zhruba do následujících skupin:

- nový metodický postup pro klíčové konkrétní téma analýzy spolehlivosti lidského činitele (4x)
- přehledová studie faktorů ovlivňujících spolehlivost člověka (1x)
- zdokonalený obecný pracovní rámec pro analýzu lidské spolehlivosti, včetně příkladu aplikace (3x)
- porovnání několika současných postupů analýzy spolehlivosti lidského činitele (2x)
- kvalitativní (popřípadě zčásti kvantitativní) "case" studie kladů a nedostatků v přístupech k analýze lidské spolehlivosti v praxi (5x)
- podrobná studie vybraného faktoru ovlivňujícího lidskou spolehlivost (1x)
- teoretický rozbor základních obecných témat analýzy lidské spolehlivosti (1x).

Rozdělení obecných témat vcelku věrně odráží současný stav ve vývoji metodiky analýzy spolehlivosti lidského činitele - vývoj, který v žádném případě není završen a dokonce ani výrazně posunut směrem k potřebnému výsledku. Současný svět analýzy lidské spolehlivosti je typický existencí celé řady vzájemně soutěžících metod, které jsou používány paralelně, bez fundamentálního zdůvodnění, a voleny spíše náhodně, na základě toho, co má analytik k dispozici, než cíleně takovým způsobem, aby odrážely konkrétní povahu problému (specifickou oblast lidské spolehlivosti, jejíž analýza se požaduje). Existující metody navíc nepokrývají všechny potřebné oblasti, což stimuluje na odborných fórech vznik a prezentaci metod nových.

Nesoulad, velká rozmáchlost a chybějící validace metodických prostředků pro analýzu lidské spolehlivosti má ovšem řadu objektivních příčin, jako například vysokou permanentně přítomnou úroveň subjektivity analýzy (i pro analytika je velmi obtížné volit objektivní postupy, když analýza samotná - a tedy i analytik - zkoumá slabé stránky procesů, jejichž je bezprostřední součástí), univerzálnost a geografickou a tématickou neomezenost problematiky lidského faktoru řešené na globální úrovni a kladoucí v procesu eventuální validace extrémní nároky na komunikaci mezi autory metod, výzkumnými týmy i prostými uživateli metod a náročné spojení konkrétních prostředků a výsledků analýzy v prostředí abstraktní pravděpodobnostní a rizikové míry, které je samo o sobě zdrojem subjektivity a dodatečných nároků na odbornost a intelekt autora analýzy a jeho schopnost pracovat s formalizovanými abstraktními strukturami.

Snaha o další posun v objektivitě kvalitativní a především kvantitativní složky analýzy lidské spolehlivosti vede v některých případech přímočaře k transferu nových progresivních metodologických principů z příbuzných oblastí analýzy dat, formálních struktur nabízejících se pro modelování atd. Tento fakt lze dobře dokumentovat, pokud zhodnotíme příspěvky na konferenci ESREL z hlediska metodického zázemí, které reprezentují v konkrétních případech; při tom lze identifikovat příspěvky popisující například nasazení následujících kategorií metodických prostředků:

- Bayesovské sítě (tématika Bayesovské analýzy byla navíc náplní samostatné sekce)
- metody fuzzy analýzy
- nové pojetí success-likelihood indexu (SLI)
- nové varianty aplikace metod stromové analýzy (stromy poruch, stromy událostí, rozhodovací stromy).

Metody analýzy lidské spolehlivosti tvoří velmi důležitý prostředek studia objektivní reality provozu moderních technologií, a to nejen v projektech přímo zaměřených na lidský faktor, ale i v projektech příbuzného nebo širšího zaměření, nejčastěji orientovaných na analýzy spolehlivosti, bezpečnosti a rizika provozu moderních technologií jako celku. Tento fakt lze dobře vysledovat i při studiu dalších příspěvků prezentovaných na konferenci ESREL, mimo sekce Lidský faktor I-IV, kde je tématika lidského faktoru mnohokrát zmíněna například v následujících tématických celcích:

- analýza provozních událostí s rizikovými dopady (*accident and incident evaluation*)
- systémy a software pro podporu rozhodování při řešení otázek bezpečnosti a spolehlivosti
- dynamická spolehlivost
- identifikace a diagnostika selhání
- integrovaný přístup k managementu rizika a rizikově podloženému rozhodování
- modelování a optimalizace procesů údržby
- bezpečnost práce ve smyslu provozní bezpečnosti (*occupational safety*)
- sběr a analýza spolehlivostních dat
- řízení rizika v komplexním prostředí
- vnímání a komunikace rizika
- kultura bezpečnosti a systémy jejího řízení (*safety culture, safety management systems*)
- spolehlivostní analýza systémů,

a dále v příspěvcích orientovaných na konkrétní oblasti průmyslu a služeb, jako například (jsou uvedeny všechny oblasti, kde byly identifikovány příspěvky obsahující segmenty s vazbou na spolehlivost lidského činitele):

- letectví a kosmonautika
- potravinářství a biotechnologie
- infrastruktura pro podporu v kritických situacích
- zdravotnictví a lékařství
- námořní doprava
- přírodní rizika

- jaderné inženýrství
- těžba ropy a plynu
- povrchová doprava.

Celkově lze na základě studia příspěvků prezentovaných na konferenci ESREL jako jednom z hlavních celosvětových fór řešících otázku spolehlivosti a bezpečnosti dojít k následujícím závěrům:

- metodologie analýzy spolehlivosti lidského činitele se rozvíjí spíše do větší šířky, jsou navrhovány nové metody analýzy, ale nejsou řešeny otázky preference metod a výběru metod z více možností
- jednoznačně narůstá šíře záběru aplikací metod analýzy lidské spolehlivosti.

3. Lidský faktor jako součást pravděpodobnostních modelů bezpečnosti provozu moderní technologie

Metody PSA se opírají o dva fundamentální pojmy, které znamenají výrazné zobecnění tradičního deterministického přístupu k zajištění bezpečnosti - primárně o pojem **pravděpodobnosti** a zprostředkovaně, s využitím pravděpodobnosti, o pojem **rizika**. Výklad symboliky a významu pojmu pravděpodobnosti zachází daleko za rámec tohoto článku a řadu náhledů v tomto směru lze nalézt například v [1]. „Riziko“, tj. pojem, který je pro moderní hodnocení bezpečnosti technologie i role lidského faktoru klíčový, lze s využitím pravděpodobnostní míry definovat následovně

RIZIKO = PRAVDĚPODOBNOST x NÁSLEDKY.

Riziko je abstraktní koncept, který je v běžné praxi zastupován číselnými hodnotami. To je velmi důležité, protože číselné hodnoty lze při aplikacích dobře porovnávat a z několika alternativ je tak možné rychle vyvodit závěr o největším/nejmenším negativním efektu některé z nich na lidskou populaci. K exaktnímu ocenění rizika jako míry nežádoucnosti daného jevu je však proto potřeba získat z analýz číselné hodnoty pro obě složky rizika - **pravděpodobnost** i **následky**.

PSA model technologie je koncipován jako reprezentace souboru scénářů (ne)vedoucích na postulovanou kritickou nežádoucí událost s velkými zdravotními důsledky pro populaci. Jedná se obvykle o komplikovanou a nepravděpodobnou událost vyžadující si narušení celé řady bariér, záměrně nebo implicitně vystavěných proti jejímu vzniku. Proto se nepředpokládá, že by k takové události došlo ad hoc, neočekávaně, ale naplnění její definice je podmíněno postupným výskytem řady událostí, počínaje prvotní, iniciační událostí, přes sekvenci dalších selhání zařízení nebo **obsluhy**, až k finálnímu negativnímu důsledku. Lidský faktor se v tomto schématu může objevit v negativní roli (přibližující vznik nežádoucí události) nebo i pozitivní roli (správným zásahem přetrhnuvší řetězec jevů k nežádoucí události vedoucích) v podstatě na libovolném místě havarijní sekvence událostí, počínaje iniciační událostí a konče úspěchem nebo neúspěchem akce poslední záchrany (obvykle spojené se zajištěním kritické bezpečnostní funkce) rozhodující o velkém poškození technologie. Navíc mohou mít lidská selhání i vnější a latentní vlivy na havarijní scénáře, pokud v průběhu testu nebo údržby během normálního provozu nebo při odstávce technologie vedou ke skrytému poruchovému stavu zařízení, který přetrvává až do eventuálního požadavku na jeho funkčnost ve specifických podmínkách havarijního scénáře.

Analýza spolehlivosti lidského činitele (*human reliability assessment*, HRA), je víceméně součástí všech složek PSA. Na počátku PSA studie je definováno spektrum prvotních iniciačních událostí, které při shodě nepříznivých okolností v havarijní sekvenci dalších událostí mohou vést až k poškození technologie a lidský faktor může být původcem řady z nich. Vznik iniciační události za normálních okolností vede k finálnímu poškození technologie jen s velmi malou pravděpodobností, přes řadu dalších selhání často několikanásobně zálohovaných provozních, havarijních nebo podpůrných systémů, ve své funkci posilovaných, doplňovaných a spojených řídicí funkcí obsluhy. Právě zde se nejvíce uplatňuje klíčová role obsluhy na velině nebo dozorně, jež by měla mít všechny předpoklady ke zvládnutí libovolné realistické kombinace nežádoucích událostí (poruch komponent a celých systémů, jejichž řešení však může být dále ztíženo vnějšími okolnostmi).

Selhání funkce libovolného elementu účastnického se sekvence událostí v havarijním scénáři, včetně selhání obsluhy při konkrétní akci, je v PSA modelu zastoupeno tzv. primární událostí (*basic*

event, BE). Příkladem lidského selhání může být nenastartování čerpadla havarijního chlazení nebo nezálohování automatického obnovení elektrických zdrojů pro technologii. Každá primární událost v PSA modelu, tedy i událost modelující selhání obsluhy, je opatřena pravděpodobnostním ukazatelem - číselnou hodnotou pravděpodobnosti výskytu. V pravděpodobnostním modelu technologie jsou primární události spojeny pomocí základních logických operátorů „A“, „NEBO“, eventuálně „NEGACE“ do větších celků - stromů poruch. Stromy poruch pak tvoří vstupy do nejvyšších úrovní složitého modelu technologie - stromů událostí, jejichž logika modeluje možnou posloupnost jevů v havarijních sekvencích. Primární události modelující lidská selhání jsou v PSA modelu prvky stromů poruch i stromů událostí, význam lidských selhání modelovaných ve vrcholové logice stromů událostí přitom logicky bývá větší.

Doposud popsaná role HRA tkví v nezbytném zahrnutí lidského prvku do pravděpodobnostního modelu technologie, protože bez něj by byl model málo vypovídající. Poměrně náročná analýza zahrnuje **identifikování** všech důležitých zásahů, jejichž přítomnost ve formě primárních událostí je v realistickém PSA modelu nezbytná, optimální strukturování činností obsluhy a vhodné umístění jejich **reprezentace** ve formě primárních událostí na „správná“ místa PSA modelu tak, aby byly co nejlépe zohledněny všechny důležité vazby a závislosti. Na vstupní „poziční“ část analýzy navazuje část numerická, odvození pravděpodobností selhání, vycházející z komplexní analýzy konkrétních podmínek každého modelovaného lidského zásahu (dostupnost specifických i obecných informací o stavu zařízení pro obsluhu, úroveň výcviku a zkušenosti obsluhy s daným scénářem, kvalita procedurální podpory, očekávaný stres obsluhy a dynamika vývoje procesů, na které musí obsluha reagovat). Výsledkem této fáze analýzy je soubor primárních událostí modelujících spolehlivost lidského činitele, svým umístěním v modelu dobře reprezentující realitu očekávaných dějů, a jim přiřazených vzájemně vyvážených číselných hodnot pravděpodobností jejich vzniku.

Získáním uvedených výsledků však končí pouze kapacitně i metodicky náročná *první část* analýzy spolehlivosti lidského činitele. Přes svou obsažnost a to, že čerpá většinu zdrojů přidělenou na HRA, jde pouze o fázi přípravou. Hlavní smysl analýz HRA je totiž uplatňován až následně, kdy je s pomocí speciálního software odhadnuto celkové riziko provozu (ve formě odhadu roční frekvence vzniku kritické nežádoucí události), je identifikována váha všech rizikových příspěvatelů (mimo jiné i všech akcí obsluhy jako zdrojů rizika) a jsou nalezeny kritické kombinace jednotlivých prvků modelu, jejichž výskyt vede ke vzniku nežádoucí události s největšími pravděpodobnostmi.

Kritické kombinace událostí vedoucích k poškození technologie jsou obvykle uváděny ve formě tzv. minimálních kritických řezů (*minimum cut sets*, MCS). Jedná se o nejmenší množiny událostí, jejichž společný výskyt v havarijním scénáři vede ke vzniku vrcholové nežádoucí události, při absenci jakékoli události z této množiny již vrcholová událost nenastane. Logickým důsledkem důležité role obsluhy při řešení scénářů odezvy na vznik iniciační události, kdy se v rozhodující většině možných scénářů předpokládá, že obsluha by měla mít možnost správným korektivním činem zablokovat další rozvoj mimořádného stavu až k poškození technologie, je to, že téměř každý minimální kritický řez obsahuje alespoň jednu primární událost spojenou se selháním lidského prvku (scénáře, které žádnou takovou událost neobsahují, jsou lidským prvkem nekontrolovatelné a proto jsou obecně nežádoucí).

Mnohé minimální kritické řezy obsahují nikoli jednu, ale více primárních událostí zastupujících selhání lidského činitele. V takovém případě je vždy nutné vzít (alespoň dodatečně) v úvahu možnou závislost mezi těmito selháními, protože příslušné činnosti jsou realizovány v časové posloupnosti společného scénáře a **neúspěch akcí prováděných dříve vždy teoreticky ovlivňuje potenciál pro zvládnutí těch následujících**. Jestliže $P(A)$ je pravděpodobnost selhání lidského zásahu **A**, $P(B)$ pravděpodobnost selhání lidského zásahu **B** a $P(AB)$ pravděpodobnost selhání **obou** zásahů v rámci jednoho výskytu konkrétního havarijního scénáře, neplatí nikdy vztah

$$P(AB) = P(A) \times P(B)$$

někdy chybně považovaný za správný, ale vztah

$$P(AB) > P(A) \times P(B),$$

a nalezení hodnoty rozdílu metodami analýzy spolehlivosti lidského činitele

$$P(AB) - P(A) \times P(B)$$

je pak bohužel při své důležitosti v praxi často velmi obtížné a nebývá součástí běžného vybavení metodických postupů aplikovaných při analýzách HRA. V podstatě jediný alespoň částečně sofistikovaný návod pro kvantifikaci pravděpodobností selhání závislých akcí je součástí klasické metodologie [2]. Mechanismy závislosti zvyšující hodnotu součinu pravděpodobností $P(A)$ a $P(B)$ odvozenou za předpokladu nezávislosti akcí A, B lze v kontextu analýzy interpretovat dvěma způsoby:

- selhání první akce A se ani nemusí projevit na evidentním přímém zhoršení podmínek pro akci B, ale již to, že k němu (jako relativně velmi málo pravděpodobnému jevu) došlo, prokazuje existenci jistého skrytého problému, u kterého není garantováno, že se neprojeví u následující akce B (náhlá „skrytá“ indispozice operátora)
- selhání první akce A zatíží podmínky provádění následující akce B dodatečnými negativními faktory a zvýší pravděpodobnost selhání akce B oproti případu, kdy by k selhání akce A nedošlo (typickým případem je zvýšení stresu po selhání se všemi jeho negativními dopady).

Jelikož struktura nejdůležitějších minimálních kritických řezů není v období tvorby vstupů PSA modelu známá, kvantifikuje se pravděpodobnost selhání $P(B)$ v první iteraci jako nezávislá na $P(A)$. Jestliže jsou pak při vyhodnocení výsledků globální kvantifikace PSA modelu technologie obě události nalezeny ve společném minimálním kritickém řezu, je metodami analýzy závislostí přehodnocena hodnota $P(B)$. Takto se v rámci analýzy závislostí re-quantifikují pravděpodobnosti selhání „pozdějších“ akcí $P(B)$ u všech důležitých minimálních kritických řezů a celý PSA model je znovu numericky zpracován, tentokrát s již zahrnutými aspekty závislostí mezi činnostmi obsluhy.

Pravděpodobnosti závislých selhání jsou dle metodiky v [2] zcela dominantně určeny úrovní závislosti na předchozí selhavší akci a jen v zanedbatelné míře ovlivněny novými skutečnostmi specifickými pro akci B a nepřítomnými při provádění selhavší akce A. Pravděpodobnosti selhání vycházející ze závislostí jsou přitom relativně velmi vysoké - od hodnot řádu 10^{-2} pro velmi nízkou úroveň závislosti přes cca 5×10^{-2} pro střední závislost až k hodnotám o velikosti 5×10^{-1} pro silnou závislost. Při maximální míře závislosti, tzv. *úplné závislosti* nebo také *kompletní závislosti*, je pravděpodobnost selhání závislé akce přirozeně rovna jedné.

Dalším velmi důležitým výstupem automatického softwarového zpracování PSA modelu je přidělení důležitosti (importační míry, *importance measure*) každé primární události. Klasický algoritmus sestavení množiny minimálních kritických řezů a odvození pravděpodobnosti těžkého poškození technologie poskytuje určitý odhad relativní důležitosti každé primární události modelu (primární událost je důležitá, když je přítomná v minimálních kritických řezech zatížených největšími frekvencemi výskytu). Tento jednoduchý princip však neposkytuje dostatek materiálu pro kompaktní analýzu celého souboru událostí a vzájemné srovnání jeho prvků, zejména neumožňuje seřadit jednotlivé primární události podle jejich skutečného významu pro riziko provozu technologie, který je kromě číselné hodnoty pravděpodobnostního parametru ovlivněn především umístěním v hierarchii logiky modelu technologie. Protože je celý PSA model často velmi složitým a rozsáhlým organismem, není práce s ním při kvantifikování důležitosti jednotlivých komponent triviální.

Důležitost každé primární události, včetně událostí modelujících selhání obsluhy, se v praxi podle cíle analýzy kvantifikuje hodnotou některé z následujících tří importačních měr:

- *Vesely-Fussell importanční míra* jako podíl celkové hodnoty frekvence výskytu všech minimálních kritických řezů obsahujících primární událost, jejíž importační míru hledáme, a celkové hodnoty frekvence všech minimálních kritických řezů zahrnutých do analýzy (tj. sumární frekvence všech scénářů vzniku nežádoucí události), tato míra je nejčastěji užívaným, obecným ukazatelem důležitosti
- *Risk Achievement Worth Ratio* jako poměr frekvence vzniku kritické události a poškození technologie v případě, že určitá primární událost zcela jistě nastane (určitá akce obsluhy zcela jistě selže s pravděpodobností 1), k frekvenci poškození v základní, neupravené verzi PSA modelu, tato míra je v oblasti lidského faktoru užitečným vodítkem například pro rozhodování o zefektivnění provozu omezením stavu pracovníků, kdy její vysoká hodnota znamená, že daná činnost je nezastupitelná
- *Risk Reduction Worth Ratio* je poměr frekvence poškození v základní verzi modelu k frekvenci poškození v případě, že daná primární událost zcela jistě nenastane (určitá

akce obsluhy selže s pravděpodobností blízkou nule), tato míra je užitečným vodítkem pro rozhodování, zda do vytváření dobrých podmínek pro provedení dané činnosti investovat ještě další prostředky.

4. Stručná historie HRA jako součásti pravděpodobnostního hodnocení v České Republice a ve světě

Rozvoj rizikově pojaté metodologie analýzy spolehlivosti lidského činitele je nedílně spojen s uplatněním metod pravděpodobnostního hodnocení bezpečnosti. První pravděpodobnostní studie bezpečnosti situované do první poloviny sedmdesátých let minulého století byly orientovány spíše na spolehlivost hardware. Spolehlivost obsluhy zde byla jednak mírně podceněna, jednak apriori hodnocena jako velmi obtížně analyzovatelná a kvantifikovatelná (míra podcenění ovšem zcela odpovídala situaci v průmyslu obecně, protože na časté skloňování termínu „lidský faktor“ bylo v oné době nutné počkat si ještě dvě desetiletí).

Počátkem osmdesátých let vychází fundamentální publikace [2], dílo, které je ještě v současné době masivním zdrojem poznatků a metodických postupů pro rizikově orientované analýzy lidského faktoru. Přestože se opírá o řadu zjednodušení, zásadně eliminuje důvody vlažného přístupu k lidskému faktoru v rizikových analýzách tím, že zdůrazňuje a velmi detailně dokládá důležitost lidského prvku pro bezpečný provoz především u jaderné elektrárny, ale nakonec i u dalších průmyslových technologií (z jejichž provozní historie ostatně vychází při hledání využitelných datových zdrojů) a současně přináší obsažný sofistikovaný aparát pro analýzu. S několikaletým odstupem navazuje na [2] práce [3], která formalizuje pracovní rámec analýzy lidské spolehlivosti v rámci PSA projektu a rovněž přináší řadu cenných idejí platných dodnes. Druhá polovina osmdesátých let je pak typická postupným rozvojem pravděpodobnostních modelů na úroveň schopnou prvních opatrných aplikací a stále podrobnějším modelováním lidské role. Větší nároky na věrohodnost PSA modelu přinášejí v oblasti HRA potřebu specifických dat a myšlenku využití simulátorů mimořádných stavů k jejich získání, opět především v oblasti jaderné energetiky, kde se plnorozsahový simulátor blokové dozorný postupně stává povinnou složkou zajištění výcviku.

První polovina devadesátých let přináší další rozvoj metodologie HRA a vznik řady konkurenčních metodických schémat, preferujících různé pohledy na faktory nejvíce ovlivňující potenciál pro selhání obsluhy. Metody časově závislých korelací, jako například HCR, naznačené například v [4], silně zdůrazňují význam časového faktoru a pokoušejí se analyticky odvodit křivky závislosti mezi pravděpodobností selhání obsluhy a časem dostupným na akci. Jiné metody kladou mnohem větší důraz na analýzu konkrétních požadavků na danou úlohu (*task analysis*). Největší skupina takových metod (viz například HEART v [4] nebo kombinované metodiky DT+ASEP dle [5]) je přitom založena na podobné struktuře, opírající se o jistou nominální hodnotu pravděpodobnosti selhání pro daný typ akce a předdefinovanou množinu ovlivňujících faktorů, jejichž přítomnost se při vlastní analýze hledá s cílem korigovat nominální hodnotu pravděpodobnosti selhání. Činnost obsluhy jako celek je pak obvykle rozčleněna do několika bodů, kdy k selhání každého z nich může dojít při uplatnění některého z množiny možných mechanismů narušení odolnosti obsluhy vůči vnějším podmínkám. Další, menší, ale velmi progresivní skupina metod, se snaží do procesu analýzy co nejvíce integrovat subjektivní zkušenost experta s velmi dobrou znalostí procesů probíhajících na studované technologii, nejlépe přímo jedinice realizujícího kvantifikované činnosti (operátora, instruktora), která je následně zpracována a hodnocena „objektivně“ nezávislým pozorovatelem; příkladem velmi silné metody tohoto druhu je SLIM [6]. Ve všech těchto případech je základním (často dále děleným) obecným typem selhání chyba spočívající v neprovedení požadované činnosti (*error of omission*, EOM).

Ve druhé polovině devadesátých let je v podstatě souběžně vyvíjena skupina metod, pracovně nazývaná „Druhá generace metod HRA“. Mezi její nejvýznamnější zástupce patří ATHEANA [7] a CREAM [8]. Tyto metody zdůrazňují kontextuální povahu lidského selhání, tj. vycházejí z předpokladu, že selhání obsluhy není téměř nikdy „náhodné“, ale je **vždy** stimulováno nepříznivým vlivem okolního prostředí. Analýza spolehlivosti lidského činitele, opírající se o uvedený předpoklad, se pak namísto odvození pravděpodobnosti selhání statistickou cestou (jako podílu počtu známých selhání v dané situaci a počtu všech akcí daného druhu) zaměřuje na **odhad pravděpodobnosti vzniku kontextu** vyvolávajícího chybu (*error forcing context*, EFC). Dalšími typickými rysy HRA metod druhé generace je velký důraz na kvalitativní zpracování dostupné provozní zkušenosti, snaha ocenit potenciál pro

selhání duševní činnosti (*cognitive activities*) obsluhy a rozšíření záběru analýzy o chyby obsluhy spočívající ve zhoršení stavu zařízení technologie po provedení objektivně **nevyžádané** činnosti (*error of commission*).

V prvních létech nového tisíciletí nedochází k žádnému novému převratnému vývoji metodologie HRA. S rostoucí výkonností počítačového hardware a dalším vývojem software a obecných přístupů pro rizikově orientované rozhodování, se HRA spolu s PSA stává legitimní součástí inženýrské podpory řízení provozu skupinou spolupracujících specialistů (blokova dozorna jaderné elektrárny) nebo i jednotlivcem (pilot letadla) a stále výraznějším doplňkem tradičních deterministických metod analýzy. Analýza spolehlivosti obsluhy se sice v tomto období nezkvalitňuje dalším vývojem formálních metodických postupů, ale její kredit narůstá díky stále větší dosahované kvalitě technické stránky analýzy. Dokonalá znalost technické a organizační podstaty dějů ovlivňovaných studovanými akcemi obsluhy se stává pro analytika nutnou samozřejmostí.

V České republice jsou metody HRA rozvíjeny v Oddělení analýz spolehlivosti a rizik Ústavu jaderného výzkumu Řež jako nezbytná a užitečná součást projektů pravděpodobnostního hodnocení bezpečnosti od počátku devadesátých let minulého století. Specialisté ÚJV jsou v současné době výhradními autory HRA pro obě české jaderné elektrárny a zpracovateli některých speciálních témat (HRA pro provoz na nízkém výkonu) i pro slovenské elektrárny. V posledním desetiletí se ÚJV v oblasti analýzy spolehlivosti lidského činitele podílel na celé řadě mezinárodních projektů jako například projektu sběru dat na trenážeru blokove dozorny koordinovaného US DOE (*Department of Energy*) [9], projektech MAAE (harmonizace přístupů užitých v HRA pro PSA studie reaktorů VVER, účast v expertních týmech na misích IPSART hodnotících kvalitu zpracování PSA) [10], v posledních dvou letech pak na Mezinárodní Empirické studii HRA [11] koordinované v rámci činnosti OECD Halden Programme Group. V letech 2009-2010 je metodika HRA na evropské úrovni mimo jiné rozvíjena v projektu MMOTION (Man-machine-organisation through innovative orientations for nuclear) [12], kde je uplatnění rizikových přístupů v analýzách lidského faktoru věnováno speciální téma a ÚJV Řež je v tomto evropském projektu koordinátorem jeho řešení.

5. Závěr

Analýzy spolehlivosti lidského činitele se v ÚJV Řež opírají o multi-metodický přístup (v mezinárodní studii [11] se pro podobný přístup začíná prosazovat termín *hybridní*), založený na dobré znalosti většiny nepoužívanějších metodických postupů a výběru vhodné metody analýzy **na míru** hodnoceným akcím obsluhy. Výběr vhodné metodologie a její aplikace je pouze jednou stránkou analýzy HRA, jejíž naplnění ještě nepostačuje k zajištění dostatečné kvality analýzy. Minimálně stejně důležitou a časově mnohem náročnější součástí analýzy je získání velmi detailní a co nejuplněnější představy o technickém pozadí hodnocených akcí obsluhy technologie. Jako zdroje informace se zde nabízejí procedurální postupy upravující činnost obsluhy (v provozu a při různých druzích výcviku), konzultace s provozními specialisty nebo informace o příbuzných událostech z evidované provozní historie. Teprve v prostředí bohaté informace o všech aspektech činnosti prováděné obsluhou mohou vyniknout silné stránky vhodné zvolené metody analýzy HRA a zpracovatel analýzy může obdržet věrohodný soubor výsledků, na němž lze založit rizikově orientované rozhodování.

Hlavním cílem převážné části prací realizovaných ve studiích HRA je získání vstupů pro kvantifikaci primárních událostí modelu PSA zastupujících projevy lidského faktoru a jejich vhodné umístění do logiky modelu. Pravděpodobnosti selhání akcí obsluhy jsou výsledkem míry ovlivnění vlastními podmínkami akce a vnějšími podmínkami podporujícími nebo ztěžujícími realizaci činností. Z faktorů výrazně ztěžujících práci obsluhy lze uvést například obtížnější interpretaci některých segmentů procedur, vyšší úroveň stresu v náročných podmínkách mimořádného stavu, dynamičnost scénářů a interakci obsluhy se zařízením na rozhraní člověk-stroj. Na druhé straně umožňují tyto analýzy vyzdvihnout i pozitivní rysy podmínek práce obsluhy naopak snižující potenciál pro selhání - dobrou úroveň výcviku, kvalitně pracující systém zpětné vazby nebo vhodné načasování scénářů bez extrémních požadavků na rychlost činnosti.

Odvozené pravděpodobnosti selhání se u činností obsluhy moderní technologie pohybují ve velmi širokém rozmezí daném rozsahem možných typů akcí a vnějších podmínek jejich provádění - od akcí s pravděpodobností selhání větší než 10^{-1} , které jsou pro činnost ve fixovaném prostředí velina nebo dozorny spíše výjimkou a jsou většinou spojeny s fyzicky náročnými lokálními akcemi na zařízení, přes běžné pravděpodobnosti selhání řádu 10^{-2} u relativně náročných řídicích činností,

k pravděpodobnostem řádu 10^{-3} u činností jednoduchých, s velmi dobrou procedurální a další podporou a pravděpodobnostem řádu 10^{-4} u málo náročných činností, na jejichž realizaci má obsluha velké množství času. Vzhledem k obecnému pojetí pravděpodobnostních modelů bezpečnosti rizikových technologií, preferujících konzervativní pohled na věc a vzhledem k permanentně přítomným závislostem mezi selháními v celém průběhu havarijního scénáře není užití pravděpodobností selhání menších než 10^{-4} v drtivé většině případů pro akce obsluhy moderní technologie ospravedlnitelné, a to ani v případech, kde jsou podmínky práce obsluhy kvalitativně hodnoceny jako vynikající.

Výsledky studií PSA převážné většiny jaderných elektráren a dalších technologií provozovaných v současnosti vykazují z pohledu lidského činitele některé velmi podobné rysy. **Lidský faktor je vždy důležitým, ne-li klíčovým určujícím prvkem celkové úrovně rizika provozu.** To se v nejčastěji sledovaných výstupech PSA projevuje dvěma způsoby:

- primární události zastupující selhání obsluhy jsou častými prvky nejdůležitějších minimálních kritických řezů (součet frekvencí důležitých minimálních kritických řezů obsahujících lidské zásahy se může pohybovat na cca 80% úhrnné frekvence vzniku kritických nežádoucích událostí)
- v seznamu primárních událostí PSA modelu, seřazených například podle hodnoty Fussell-Vesely importační míry, se řada primárních událostí modelujících lidské zásahy bude nalézat mezi první stovkou událostí, kdy nejvýznamnější z nich dosahují hodnoty F-V importační míry řádu 10^{-2} , což znamená, že se jednotlivě podílejí na procentech úhrnného rizika (což je na pohled malá hodnota, ale jen do té doby, než ji vhodně interpretujeme - to, že **konkrétní jediný** lidský zásah zastupuje byť procento nebo i promile rizika spojeného s provozem rozsáhlé moderní technologie, je fascinující).

Literatura

- [1] <http://new.euromise.org/czech/tajne/ucebnice/html/html/node5.html>
- [2] Swain A.D., Guttman H.: „Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications“, NUREG/CR-1278, 1983
- [3] Hannaman G.W., Spurgin A.J.: "Systematic Human Action Reliability Procedure (SHARP)", EPRI-NP-3583, Electric Power Research Institute, Palo Alto, 1984
- [4] Humpreys P.(editor): „Human Reliability Assessors Guide“, 1988, RTS 88/95Q, UKAEA
- [5] Holý J.: „Nové směry v analýze spolehlivosti lidského činitele zaměřené na rozhodující faktory předcházející selhání obsluhy JE“, revize 1, ÚJV Řež, 1998
- [6] Holý J., Stojka T.: “Report on Human Reliability Analysis - Level 1 SPSA of Mochovce 1 Unit NPP”, VÚJE Trnava, 2002
- [7] „Technical Basis and Implementation Guidelines for a Technique for Human Event Analysis (ATHEANA)“, NUREG-1624, Rev. 1, 2000
- [8] Hollnagel E.: „Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM)“, Elsevier, 1998
- [9] Holý J.: “Transfer of Methodology and Results of Simulator Data Collection from NRI Rez to VUJE Trnava”, PNNL BOA No. 312568-A-R4, 1999
- [10] Working material from IAEA workshop on Harmonization of PSA Methodology Approaches for WWER-1000 Reactors and Comparison of PSA Results, TC Project RER/9/068, 2002, Berlin
- [11] International HRA Empirical Study - pilot phase report, OECD Halden Reactor Project, HWR-844, 2008
- [12] Man-Machine-Organization Through Innovative Orientations for Nuclear (MMOTION) grant agreement, Annex 1 - description of work, 2008
- [13] Swain, A.D.: "Accident Sequence Evaluation Program Human Reliability - Analysis Procedures", NUREG/CR-4772, 1987



[14] Holý J.: "Analýza spolehlivosti lidského činitele jako součást projektu pravděpodobnostního hodnocení bezpečnosti jaderné elektrárny", *Bezpečnost jaderné energie* 7 (45), 1999

[15] Spurgin J., A., Bareith A., Moieni P.: "A Computerized Safety Improvement System for Nuclear Power Plant Operator Training", Brookhaven National Laboratory, 1996

[16] Kirwan B.: "Nuclear Action reliability Assessment (NARA): a Data Based HRA Tool", *Safety and Reliability*, Vol.25 (2), 2005



Česká společnost pro jakost, Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1
Přínos mezinárodní konference ESREL pro spolehlivost, Praha 19. 11. 2009

Přínos mezinárodní konference ESREL pro spolehlivost (sborník přednášek),
kolektiv autorů
počet stran: 37
1. vydání,
rok vydání: 2009
druh vazby: brožovaná

ISBN 978-80-02-02195-7