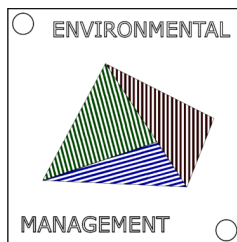


HISTORICKÉ ÚDAJE O POHROMÁCH JSOU DŮLEŽITÉ PRO STAVBU TECHNOLOGICKÝCH KOMPLEXŮ

Dana PROCHÁZKOVÁ

HISTORICAL DATA ON DISASTERS ARE IMPORTANT FOR CONSTRUCTION OF TECHNOLOGICAL COMPLEXES



ABSTRAKT

CÍLEM INŽENÝRSKÝCH DISCIPLÍN JE ŘEŠIT ÚKOLY PRAXE TAK, ABY PODPOROVYLY ROZVOJ LIDSKÉ SPOLEČNOSTI, COŽ ZNAMENÁ ZAJIŠTĚNÍ OCHRANY A ROZVOJE VEŘEJNÝCH AKTIV, KTERÝMI JSOU ŽIVOTY, ZDRAVÍ A BEZPEČÍ LIDÍ, ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ, MAJETEK, VEŘEJNÉ BLAHO, ŽIVOTODÁRNÉ INFRASTRUKTURY A TECHNOLOGIE. PROTO PŘEDMĚTNÉ DISCIPLÍNY ŘEŠÍ OTÁZKY Z MNOHA OBLASTÍ, TJ. TECHNICKÉ, FUNKČNÍ, ŘÍZENÍ, LEGISLATIVY, FINANČNÍ, PERSONÁLNÍ A POPŘÍPADĚ DALŠÍ. ČLÁNEK VYCHÁZÍ Z JAPONSKÝCH HODNOCENÍ A NA PŘÍKLADU HAVÁRIE JADERNÉ ELEKTRÁRNY FUKU-SHIMA UKAZUJE, ŽE ZDE PŘI TVORBĚ ZADÁVACÍCH PODMÍNEK BYLA ZANEDBÁNA HISTORICKÁ DATA O VELKÝCH HISTORICKÝCH TSUNAMI.

KLÍČOVÁ SLOVA: Role historických dat; požadavky na výstavbu technologických komplexů; zadávací podmínky; havárie jaderné elektrárny Fuku-shima; poučení z havárie.

ABSTRACT

THE TARGET OF ENGINEERING DISCIPLINES IS TO SOLVE THE TASKS OF PRACTICE BY THE WAY SO THEY SUPPORT DEVELOPMENT OF HUMAN SOCIETY WHICH MEANS THE ENSURING THE PROTECTION AND DEVELOPMENT OF PUBLIC ASSETS AS: HUMAN LIVES, HEALTHS AND SECURITY; ENVIRONMENT; PROPERTY; WELFARE; LIFE-GIVING INFRASTRUCTURES AND TECHNOLOGIES. THEREFORE, THESE DISCIPLINES SOLVE THE PROBLEMS FROM MANY DOMAINS, I.E. TECHNICAL, FUNCTIONAL, MANAGING, LEGAL, PERSONAL AND PERTINENTLY FURTHER. THE ARTICLE GOES OUT FROM JAPANESE EVALUATION AND ON THE EXAMPLE OF THE FUKU-SHIMA NUCLEAR POWER PLANT IT SHOWS THAT IN THIS CASE IT WAS NEGLECTED THE HISTORICAL DATA ON BIG HISTORICAL TSUNAMIS.

KEY WORDS: Role of historical data; demands on construction of technological complexes; terms of references; Fuku-shima nuclear power plant accident; lesson learned from accident.

1. Úvod

V souvislosti s ochranou člověka a rozvoje lidské společnosti se v poslední době stále více mluví o extrémních pohromách a haváriích. Předmětné jevy působí velké ztráty, škody a újmy, a to nejen na veřejných chráněných aktivech, kterými jsou životy, zdraví a bezpečí lidí, veřejné blaho, životní

prostředí a majetek, ale i na infrastrukturách a technologických objektech, které jsou pro lidi životodárné (zajišťují energie, vodu, potraviny, služby).

Pro extrémní jevy se používají označení: černá labuť (black swan), královský drak (dragon king) či atypická pohroma či atypická havárie. Jejich výskyt nelze popsat pomocí charakteristik matematické statistiky. Pro popis jejich vzniku se používají teorie extrémů, teorie chaosu, teorie komplexity a teorie možností [1]. Přitom se používají metody založené na podmíněné pravděpodobnosti, expertní metody pro vystižení znalostních nejistot (tj. neurčitostí) a Bayesova teorie [2].

Z důvodu dynamického vývoje světa se v konceptech počítá s nejistotami náhodnými i znalostními, tj. s neurčitostmi v zákonitostech, kterými popisujeme procesy probíhající v planetě Zemi, v území i v objektech. Z předmětného důvodu je třeba při popisu chování systémů používat dlouhé časové řady, tj. i historická data, a to přesto, že nejsou tak přesná jako dnešní data, která byla naměřena moderními přístroji. Propojení historických i současných přesných dat vyžaduje specifické znalosti z široké oblasti a také zkušenosti z práce s pohromami a jejich riziky.

Na základě japonských hodnocení havárie jaderné elektrárny Fuku-shima, které ukazují, že při tvorbě zadávacích podmínek pro elektrárnu byla zanedbána historická data o velkých historických tsunami, autorka na příkladech ukazuje, že zanedbání dat o velkých historických zemětřeseních ovlivňuje výpočet sklonu četnostního rozložení zemětřesení, který je základním parametrem pro výpočet seismického ohrožení.

2. Požadavky na výstavbu technologických komplexů a zadávací podmínky

Při řízení zacíleném na bezpečnost technologických systémů je třeba vyjít z podstaty inženýrských disciplín. Inženýrství zacílené na bezpečnost při výstavbě a provozu technologického objektu je pokroková disciplína rizikového inženýrství, která vychází z filozofie bezpečnosti systému systémů, což znamená, že systém systémů je zabezpečený systém systémů, který ani při svých kritických podmínkách neohrožuje sebe, ani své okolí [2].

Cílem všech řídicích a inženýrských činností je zajistit koexistenci překrývajících se systémů, protože jejich cíle jsou čas od času konfliktní.

Proto dle práce [2], ve které je zohledněno současné odborné poznání a principy prosazované OECD / NEA a IAEA, jsou jejich předpoklady a požadavky následující:

- každý složitý technologický objekt je otevřený systém systémů a je ohrožen všemi ohroženími, která souvisí s pohromami možnými v daném místě, do kterých také patří selhání vazeb a spřažení uvnitř i mimo tento systém systémů,
- rozpoznat synergické vztahy mezi riziky, zranitelnostmi a bezpečnostmi,
- zvážit interdependence způsobené průřezovými riziky,
- modelování procesů rozhodování veřejné správy s ohledem na rizika a nejistoty (k provádění systémů podpory rozhodování),
- určit právní podmínky a ochranná opatření,
- zlepšit činnost institucí (institucionální změny),
- zlepšit bezpečnostní systémy a systémy pro podporu bezpečnosti novým vybavením a nezávislými redundantními (záložními) systémy (zejména v oblastech energie a chlazení),
- zlepšit činnost inspekci a jiných mechanismů kontroly,
- zajistit připravenost na extrémní události (speciálně odolná řídicí centra pro reakci; technické zdroje, síly a prostředky pro speciální potřeby odezvy na extrémní události – hasiči, bezpečnostní stráž, technické služby, kybernetickou ochranu atd., které jsou připraveny a vycvičeny pro zvládnutí kritických situací vyvolaných extrémními jevy; finanční a materiální zdroje pro zvládnutí odezvy na kritické krizové situace vyvolané extrémní události; zvláštní metodické postupy pro odezvu na extrémní události různého druhu; speciálně vyškolený personál pro zajištění první reakce,

- zlepšiť schopnosť vyrovnat sa s extrémnymi vonkajšími a vnútornými javy (napr. v jaderných elektrárnach špeciálne zariadenie – lapač taveniny z roztavené aktívnej zóny),
- zabezpečiť zdroje, sily a prostriedky na reakcie na extrémne udalosti, vrátane podpory od verejnej správy,
- systematicky vzdelávať populáciu,
- formovať (generovať) trvale profesionálne zázemie pre rozhodovanie podporou výskumu a vedy.

S ohľadom na získané skúsenosti z technologických havárií zaradených do kategórie "organizačná havária" je nevyhnutné zlepšiť prácu vrcholového manažmentu technologických komplexov a prinútiť ho, aby aplikoval proaktívne riadenie, ktoré je: založené na fundovaných znalostiach; strategické; šité na mieru reálnym podmienkam; a je pochopiteľné pre všetky subjekty, ktorým je určené. Vrcholové vedenie musí uznať, že bezpečnosť nie je niečo predem dané, ale že musí byť vytvorená vedomými, zacílenými a systémovými opatreniami a aktivitami, čo z hľadiska teórie znamená prevádzka riadenia bezpečnosti vo verejnom záujme a prospechu. Preto je nevyhnutné dodržiavať kľúčové koncepty bezpečnostného a rizikového inžinierstva [2].

V reálnom inžinierskej praxi spojené s komplexnými technologickými objektami je potreba oddeliť dva obory. Prvý, ktorý hodnotí prostredie, v ktorom je objekt umiestnený a druhý, ktorý sa zaoberá na vytvorenie bezpečného objektu. Výsledkom prvého sú zadávací podmienky a výsledkom druhého je návrh, výstavba a prevádzka objektu na základe zadávacích podmienok. Dôležité sú obe oblasti, pretože technologické objekty stavíme pre podporu ľudí. Na základe súčasných znalostí je potreba poznamenať, že každé zacílené riadenie (jehož cieľ je bezpečnosť a rozvoj alebo bezprostredné ciele, ako je konkurenceschopnosť alebo len prežitie) musí byť založené na vysokej kvalite práce s rizikami.

Odhad ztrát a škôd vo složitých technologických objektoch musí podľa potrieb ľudí rešpektovať ztráty a škody v okolí, ale technické normy a štandardy sú väčšinou sústredené iba na technické problémy sledovaných objektov. Preto komplexné hodnotenie rizík s ohľadom na ochranu kritických objektov je nutné pri projektovaní i prevádzke, najmä po haváriách. V praxi sú preto nutné pravidelná údržba, pravidelné inspekcie a zvlášť inspekcie (nazývané walkdowns) po každej dôležitej nehode [2]. Kontrola dokumentácie pre zabezpečenie bezpečnosti sa koncentruje na odhalenie chýb z hľadiska platných noriem a štandardov. Inspekcie majúci cieľ odhaliť existujúce riziká, musia používať metódy rizikového inžinierstva, ktoré sú odlišné od metód projektových; t.j. pouhá kontrola plnenia požiadaviek štandardov a noriem je špatná kontrola [2].

Pri inspekciách po haváriách nie sú hodnotené iba ztráty a škody, ale sú vyhľadávané skutočné príčiny a slabiny v konštrukcii s cieľom zlepšiť kritický objekt, t.j. znížiť jeho zraniteľnosť a zvýšiť odolnosť voči pohromám [2].

Shrnutie poznatkov ukazuje, že realizácia jednotlivých opatrení a činností potrebuje zdroje, sily a prostriedky (z oblasti poznania, materiálne, technické, personálne, organizačné a finančné), ktoré sú obvykle veľmi obmedzené a potrebujú čas na implementáciu. Vzhľadom k tomu, že svet sa dynamicky mení, tak sa riadenie bezpečnosti kritických objektov zaoberá na priority. Preto zásady pre zmiernenie a riadenie rizík sú:

- Správne riadenie bezpečnosti, ktoré má tri základné fázy: bežné normálne riadenie (pozornosť je zameraná na vývoj, prevenciu a pripravenosť); nouzové riadenie (pozornosť je zameraná na zvládanie bežných nouzových situácií s pomocou štandardných zdrojov, síl a prostriedkov); krízové riadenie (pozornosť je zameraná na zvládanie kritických situácií, ľudské prežitie; stabilizáciu situácie a zahájenie obnovy pre potreby nastartovania ďalšieho rozvoja, a to pomocou štandardu a nadštandardných zdrojov, síl a prostriedkov).
- Zmiernenie a riadenie všetkých rizík musí byť efektívne.

- Podpora kultúry bezpečnosti v praxi vyžaduje jak zacílené řízení, tak i širokou účast všech účastníků.
- Využití všech možných nástrojů – včetně specifického vzdělávání pracovníků z oblasti technické a řízení.

Strategie pro zajištění bezpečnosti a udržitelného rozvoje kritického objektu spočívá v: aplikaci systémového a proaktivního řízení, které se opírá o znalosti a zkušenosti získané pro kritický objekt na základě kvalifikovaných údajů; kvalifikované vypořádání rizik ve prospěch bezpečnosti a udržitelného rozvoje kritického objektu; zvládnutí rizik za pomoci prevence, zmírnění, pojištění, přípravy rezerv na odezvu a obnovu a sestavení plánu pro zvládnutí nepředvídaných situací (pohotovostní plán); použití správného postupu, ve kterém jsou dobře propojeny běžné řízení, nouzové řízení a krizové řízení; sestavení programu na neustálé zvyšování bezpečnosti kritických objektů; stanovení míry pro hodnocení jeho bezpečnosti ve smyslu účinnosti zabezpečeného systému (ukazatele); plnění programu pomocí vzájemně propojených projektů + plnění projektů pomocí vzájemně propojených procesů; přímo specifikované alokace úkolů a odpovědnosti všech zúčastněných; a uplatňování příslušných činností a opatření, která jsou spojena s kvalifikovaným a konzistentním monitoringem.

Jak již bylo výše uvedeno, tak pro každý koncept řízení a inženýrského vypořádání rizik (kterých je pět [1,2]) byla vyvinuta řada standardů a norem pro jeho využití v praxi, která se mění a doplňuje na základě nových znalostí. Kvůli různým předpokladům konceptů jejich výsledky při aplikaci v praxi nejsou stejné. Protože platí, že čím vyšší koncept řízení rizik a inženýrského vypořádání rizik se používá, tím jsou větší nároky na zdroje, sil a prostředků, a proto je nutné zvolit koncept podle cílů v oblasti bezpečnosti [2], který je realizovatelný na základě dostupných zdrojů, sil a prostředků.

Základem je povědomí o cílech práce s riziky, tj. zda chceme objekt zajistit jako zabezpečený systém nebo bezpečný systém.

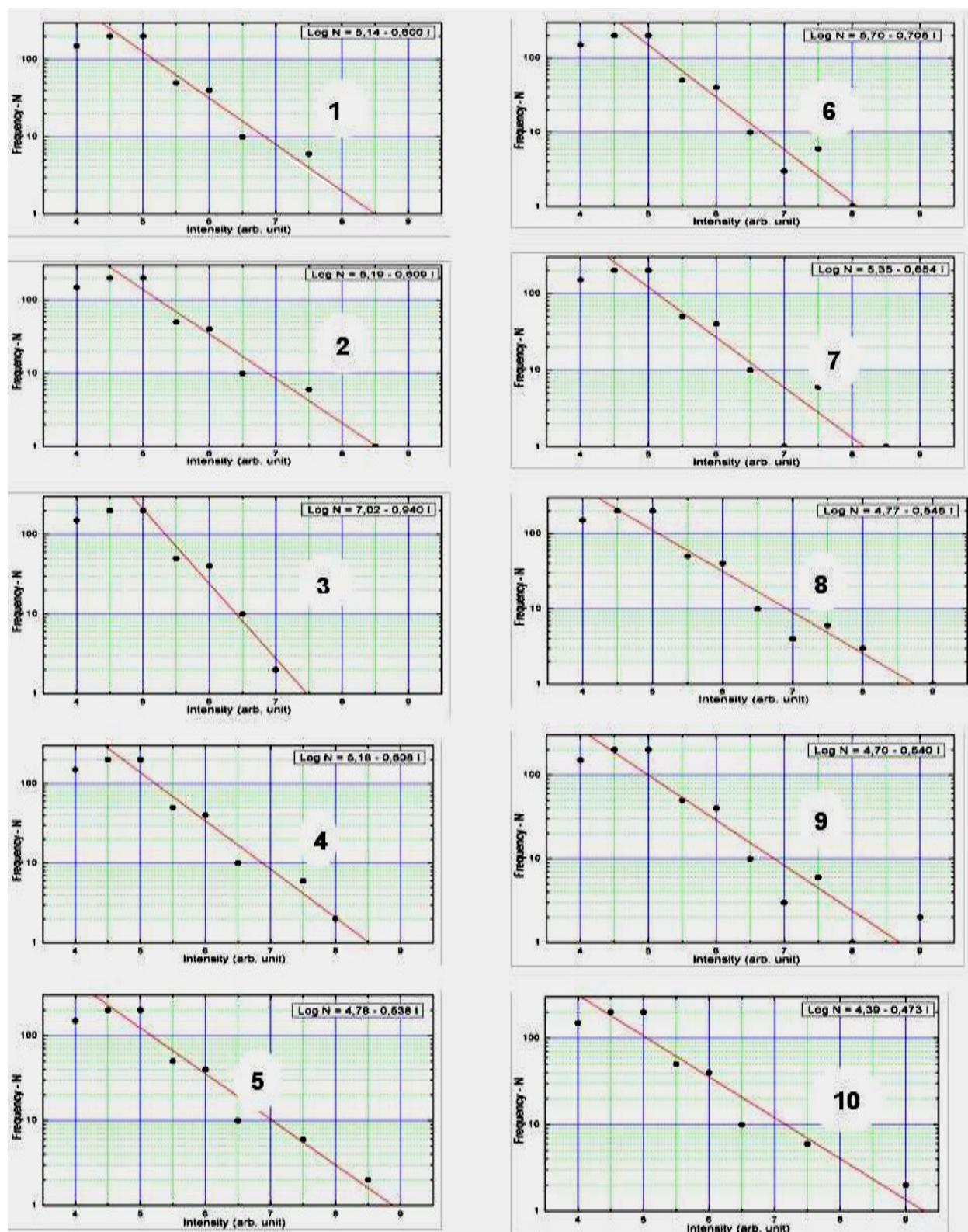
3. Charakteristika historických dat o pohromách

Pro sestavení zadávacích podmínek pro výstavbu technologických komplexů jsou důležitá data o pohromách, které mohou významně postihnout místo vybrané pro jejich umístění. Na základě výzkumu, např. [3-5], velké pohromy se vyskytují v čase i území značně nepravidelně a řídce. Proto nelze použít postupy běžné matematické statistiky, ale v dnešní době se používají postupy založené na teorii velkých čísel, tj. teorie extrémů a pravděpodobnostní přístupy. Bohužel, ani ony nejsou dokonalé, viz původci jevů, které jsou dnes označovány v odborné literatuře jako černá labuť, královský drak nebo jen prostě atypická havárie [2].

Na základě poznatků získaných z odborné literatury a vlastních zkušeností z:

- podrobného výzkumu řady pohrom v Evropě [4],
 - diskusí s experty IAEA při zpracování zadávacích podmínek z pohledu zemětřesení pro jaderné elektrárny Dukovany, Temelín, Mochovce, Paks a další [6],
 - diskusí s experty IAEA, NEA a US NRC při posuzování seismické odolnosti vybraných jaderných elektráren, průmyslových komplexů a přehrad a na odborných konferencích,
- autorka poukazuje na příčinu, která tkví v poznání postupů pro výpočet seismického ohrožení.

Všechny používané postupy pro výpočet seismického ohrožení vychází z četnostních rozložení, která se v logaritmické stupnici vyjadřují přímkou, a to i v oblasti velkých jevů. Předmětný předpoklad však není v mnoha případech oprávněný, jak ukazují případy uvedené na obrázku 1, jenž byl sestaven podle datových souborů analyzovaných v [3-6].



Obr. 1. Příklad číselných rozložení, která jsou v oblasti malých a středních velikostí totožná a liší se v oblasti velkých velikostí $S \geq 7$.

Na obrázku 1 je deset grafů, u kterých body vyjadřující hodnoty četnosti až do velikosti $S = 6.5$ jsou stejné a pak se liší. To znamená, že mají jiné rozložení četnosti výskytu zemětřesení v oblasti velkých zemětřesení. Tvary grafů byly sestaveny na základě typizace provedené podle více než 500 autorkou zhotovených konkrétních grafů pro různá území ve střední Evropě a jejím okolí [3-6]. Srovnání grafů ukazuje, že problém je v proložení přímkou

$$\log N = a - b S.$$

Výsledky proložení, tj. především sklon grafu, který je důležitých pro výpočet ohrožení, nejsou stejné a závisí na konkrétní poloze bodů v oblasti velkých zemětřesení.

Původní používané postupy při výpočtu seismického ohrožení [7] vycházely z proložení přímkou vytvořené za předpokladu, že ve všech případech byly zanedbány body pro hodnoty $S \geq 7$, protože tam byl velký rozptyl bodů, a výsledek byl pro všechny případy totožný; tj. hodnoty parametrů a , b byly stejné. Výpočty dle teorie extrémních hodnot, kde se používá hodnota parametru, byly pak též totožné. Výsledky shromážděné v [6] ukazují, že čím je hodnota parametru b nižší, tím je ohrožení vyšší, a proto při snaze o zajištění bezpečnosti, je zanedbání rozložení bodů v oblasti velkých pohrom logická chyba, a proto byl použit přístup, který byl založen na logickém faktu, že perioda opakování je pro velká zemětřesení velmi velká, a proto četnostní graf není úplný v oblasti velkých zemětřesení, a byl do praxe zaveden pravděpodobnostní přístup pro výpočet ohrožení.

Na základě předpokladu, že existuje náhodná nejistota v rozložení bodů, byly zváženy všechny body, tj. byl zvážen celý soubor přímek aproximujících rozložení bodů s parametry pohyblivými se v intervalech

$$a \pm \Delta a \text{ a } b \pm \Delta b,$$

a výsledná hodnota parametru b byla určena jako medián z takto spočítaných hodnot. Tím byla ve sledovaném případě zvážena rozložení znázorněná na grafech 1 – 8 na obrázku 1. Nebyla však zvážena rozložení bodů na grafech 9 a 10.

Protože případy závislosti na grafech 9 a 10 existují v jedné seismotektonické formaci, tak se jejich existence se vysvětluje konceptem, že za nějakých okolností dojde k výrazné změně zákonitosti v procesu vzniku pohromy, což znamená, že kromě náhodných nejistot, existují i znalostní nejistoty, tj. neurčitosti, které způsobují, že v důsledku vnitřních či vnějších příčin dojde ke změně závislosti popsané vztahem

$$\log N = (a \pm \Delta a) - (b \pm \Delta b) S.$$

Uvedený závěr znamená, že v čase se mění podmínky výskytu zemětřesení v jednotlivých oblastech, což nelze vyloučit, protože planeta Země se dynamicky vyvíjí a ani vyšší systémy nejsou bez vývoje.

Detailní studia vztahu mezi zemětřeseními a tektonicko-fyzikálními procesy [8,9] ukázala jak existenci vzájemných souvislostí při ustáleném režimu seismo-tektonických oblastí (např. v jisté oblasti se někdy nahromaděná seismická energie uvolní ve formě jednoho velkého otřesu a v dalším období ve formě několika větších otřesů) [3], tak anomálie při narušení ustáleného režimu v důsledku výskytu velkých zemětřesení (takových jako bylo dne 26. 12. 2004 v Indonésii) spjatých s planetárními strukturami, které naruší ustálené režimy v menších oblastech. Předmětné skutečnosti vysvětluje představa opírající se o modely entit nazývané systémy systémů, kdy každá entita je systém, svět je soubor vzájemně se prolínajících systémů [10].

Z pochopitelných důvodů charakteristiky popisující chování systémů nejsou jednoduché; a totéž platí pro četnostní rozdělení jevů, které entity produkují.

Současné matematické postupy založené na teorii mlhavých množin [11], teorii komplexity [12] a teorii možností [13] vychází při tvorbě charakteristik entit popsaných modelem systémů z Bayesovy teorie podmíněné pravděpodobnosti [2] a předpokládají, že sice existuje více různých rozložení četnosti jevů, ale že respektují jisté přírodní zákonitosti, a proto se snaží určit dvě hraniční rozdělení, mezi kterými leží všechna možná rozložení četnosti jevů. Příslušné teorie jsou postupně zkoušeny v praxi. Jejich některé výsledky jsou uspokojivé [14]. Pro zadávací podmínky pro konstrukci velkých technologických celků dle poznatků autorky zatím vyzkoušeny nebyly.

Z recenzí odborných publikací i z hodnocení výzkumných zpráv a projektové dokumentace velkých technologických celků [6] autorka zjistila v předmětné oblasti chyby v zadávacích podmínkách, jejichž příčiny byly následující skutečnosti:

- při tvorbě četnostního rozložení a následném výpočtu ohrožení jsou použita jen přesná data z krátkodobých měření; údaje maximálně pro několik desetiletí nemohou dát představu o velkých jevech, jejichž perioda opakování je v Evropě více než 400 let (Swiss Re a EU zvažují periodu opakování 500 let), výpočty provedené pro lokality v ČR a okolí ukazují na hodnoty mezi 400 a 500 lety [6,15,16],
- při tvorbě četnostního rozložení a následném výpočtu ohrožení je použito propojení historických dat a přesných dat z krátkodobých měření s tím, že vyšší váha je dána přesným měřením; v těchto případech se často vynechávají nebo snižují velikosti historických jevů na základě tvrzení, že předci se mýlili, a to přesto, že v daných místech se při všech dobře doložených jevech i dnes vyskytují hodnoty vyšší než v okolí (zanedbání existence anomálií, tj. skutečnosti, že reálná prostředí jsou nehomogenní a anizotropní) [2,3,6,17],
- při tvorbě četnostního rozložení a následném výpočtu ohrožení se použijí jen simulace založené na teoretické představě; výsledky jsou sice na hodně desetinných míst, ale jsou velmi vzdálené realitě, viz údaje o zemětřesení v Aquile, tj. městě, které bylo založeno v r. 1230 a které 6. 4. 2009 poškodilo vážně zemětřesení o magnitudu 6.3, přičemž italští experti pod vedením Dr. Panzy při seismickém posuzování pro výstavbu a z odolnění města; skupina sedmi expertů byla obžalována (prokuratura - označili ve zprávě příchod mohutného zemětřesení za "nepravděpodobný", ačkoli současně dodali, že zcela vyloučit ho nemohou. Právě kvůli tomuto falešnému ujištění se mnoho obyvatel i přes varování rozhodlo zůstat doma) [18].

Po velkých škodách způsobených zemětřesením v Aquile se objevují publikované výpočty [19], že autoři neručí za škody způsobené použitím jejich výsledků v praxi.

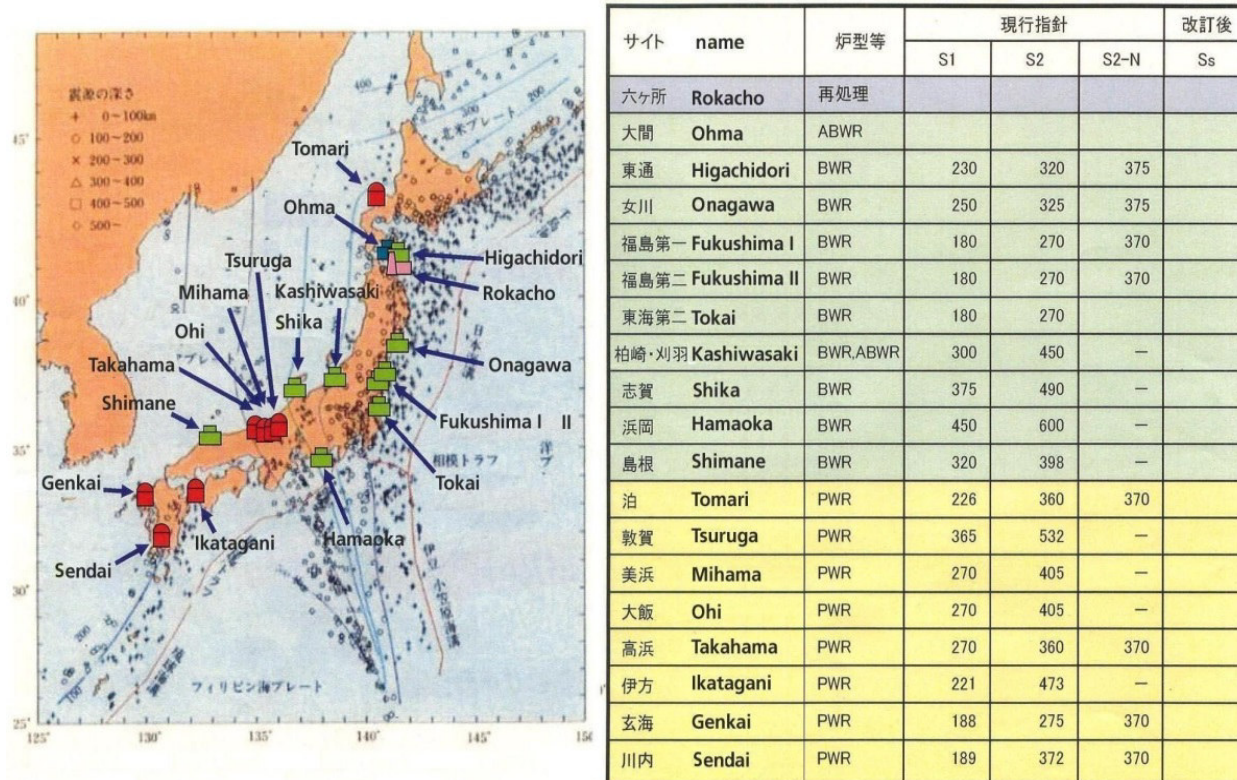
Z výše uvedeného vyplývá, že inženýr dostane pro stanovení zadávacích podmínek od matematiků de facto nepřesný údaj, který je ovlivněn tím, jak autor vyhodnotil četnostní rozdělení, anebo údaj o ohrožení, za který jeho autor neručí. Protože však musí vytvořit bezpečný technologický celek, tak musí být ostražitý a do zadávacích podmínek uvádět hodnoty, které v sobě mají jistou bezpečnostní rezervu, aby postihly i nejméně příznivé případy.

Je skutečností, že použití bezpečnostních rezerv technologický celek prodražuje, a proto při jejich určování musí být brány v úvahu dostupné zdroje, síly a prostředky. V případech malých rezerv se musí vytvořit plány odezvy na nežádoucí nouzové situace a jejich technické, materiální, finanční a personální zabezpečení [2].

4. Výsledky hodnocení příčin jaderné havárie Fuku-shima z pohledu zadávacích podmínek

O velkém japonském zemětřesení, které postihlo dne 11. března 2011 východní Japonsko, a vybudilo tsunami, které vyvolalo havárii v jaderné elektrárně Fuku-shima, se napsalo, a asi ještě napíše, mnoho. Z mnoha odborných prací mne zaujala skutečnost, že nedaleko jaderné elektrárny Fuku-shima je

jaderná elektrárna Onagawa (obrázek 2), která předmětné zemětřesení a hlavně následné tsunami přestála bez úhony, tj. normálně odstavila a škody na významných technologických objektech a zařízeních byly přijatelné. Z důvodů popsaných v kapitole 2 je významné, že v zadávacích podmínkách pro jadernou elektrárnu Onagawa byly použity údaje o velkých historických tsunami.



Obr. 2. Rozmístění jaderných elektráren v Japonsku (www.iaea.org).

Proto je zajímavá práce [20], ve které jsou fakta shrnuta pod názvem „Onagawa story“. Na začátek je třeba uvést, že elektrárna „Fuku-shima byla postavena a provozována společností Tepco, a elektrárna Onagawa společností Tohoku. Pan Epstein, autor sledované práce, studiem a porovnáním projektové a provozní dokumentace obou elektráren zjistil, že kultura bezpečnosti byla a stále je na elektrárně Onagawa vyšší. Zavedl ji tam při navrhování, výstavbě a později i provozu v 60. letech minulého století vrchní inženýr pan Yanosake Hirai (1902-1986), kterému společnost Tohoku dala plnou důvěru.

Pan Hirai bral svoji odpovědnost velmi vážně, a tak postupoval velmi obezřetně. Na rozdíl od zadávací dokumentace pro jadernou elektrárnu Fuku-shima, prosadil, se při zpracování zadávací dokumentace se pro jadernou elektrárnu Onagawa v případě tsunami nebraly jen údaje o Sanriku tsunami z r. 1896 a o tsunami po Chilském zemětřesení v r. 1960, ale vzaly se v úvahu i údaje z historie o Keicho tsunami z r. 1611 a o Jogan tsunami z r. 869. Proto také výška obranného valu byla spočtena na 14.8 m a při výstavbě k ní byla připočtena ještě přiměřená bezpečnostní rezerva, zatímco u jaderné elektrárny Fuku-shima byla výška obranného valu vypočtena na 6.5 m a s bezpečnostní rezervou byla vybudována do výšky 10 m.

V technologii s ohledem na historická tsunami pan Hirai zavedl speciální systém vodního hospodářství naprojektovaný tak, aby i při tsunami měla elektrárna vodu pro chlazení [20]. Dr. Epstein (autor práce [20]) k tomu poznamenává, že jeho prozíravost zajistila ochranu 25 let po jeho smrti. Autor sledované práce dále uvádí, že v duchu kultury bezpečnosti zavedené panem Hirai po silném

zemětřesení dne 11. 3. 2011 elektrárna odstavila a dokonce pomohla ve svých prostorách přežít obyvatelům města Onagawa, které bylo kompletně tsunami zničeno.

Provedené paleogeologické výzkumy ukázaly, že sledovanou oblast postihla velká tsunami i před naším letopočtem, a to mezi 910 BCE a 670 BCE, a druhé mezi 140 BCE a 150 CE, tj. potvrdily, že s velkými tsunami je v předmětné oblasti potřeba počítat.

Práce [20] je uzavřena tvrzením „*bez standardů a legislativy bychom byli odsouzení k opakování chyb z minula, ale bez vložení bezpečnosti do jejich vylepšení a schopnosti udržitelně odpovědět na neočekávané události nebudeme připraveni na budoucnost*“, což znamená, že je třeba stále sledovat a vyhodnocovat dynamické chování světa a připravovat se na správnou a rychlou reakci, když se objeví nepříjemné jevy, a to v dlouhodobém časovém úseku (prevence), střednědobém (přípravenost) i krátkodobém (odezva). To znamená používat logiku typu „co platilo včera, neplatí dnes, ani v budoucnu“.

Z výše uvedených fakt a z předchozí kapitoly vyplývá, že se nevyplácí zanedbávat znalosti, které jsou v historických datech.

Na základě další japonské práce [21] je největší poučení z předmětné havárie přiznání, že příčinou velké havárie jaderné elektrárny Fuku-shima byl fakt, že v zadávacích podmínkách byla velikost tsunami podceněná, jak potvrdila provedená PSA. Je sice pravda, že po havárii se to snadno říká, ale před havárií to není jednoduché, protože bezpečnostní opatření jsou nákladná, a každý chce ušetřit.

Podle práce [21] je nutné zvažovat, že: některé jevy mají velmi malou četnost výskytu; existuje vysoká nejistota v datech o velkých jevech; a že velké jevy nelze identifikovat na základě krátkých časových řad dat, tj. je potvrzena známá skutečnost uvedená výše, že velké jevy se vyskytují nepravidelně a řídce [3-6,8,9].

Pro doplnění jsou dále uvedeny výsledky PSA z práce [21], provedené po havárii v jaderné elektrárně Fuku-shima. V rámci PSA – level 1 bylo zjištěno, že:

- četnost výskytu poškození aktivní zóny (CDF) a kontejnmentu byla v návrhu sledována jen pro vnitřní škodlivé jevy,
- malá hodnota CDF vedla posuzovatele k tomu, že jaderná elektrárna je bezpečná a byla vyloučena nadprojektová havárie,
- poučení havárie v jaderné elektrárně, která se udála v r. 1993, kdy voda ze zkorodovaného potrubí zaplavila turbínu, bylo podceněno,
- analýzy v r. 2012 ukázaly, že nadprojektové tsunami s výškou přes 10 m má pravděpodobnost výskytu 1 x za 10^{-6} let; s tím spojená podmíněná pravděpodobnost porušení aktivní zóny však vyšla vysoká,
- provedené deterministické i pravděpodobnostní výpočty před havárií ukazovaly na rychlou obnovu vnitřního napájení proudem po výpadku, takže výpadek vnitřního napájení elektrickou energií se nebral v úvahu,
- v řízení bezpečnosti technologického komplexu nebyla zvažována nutnost ventilace kontejnmentu, aby se zabránilo jeho narušení,
- nebyly zvažovány dopady propojení několika škodlivých jevů (v daném případě zemětřesení a tsunami).

V r. 2011 během jevu nadprojektové tsunami způsobilo zaplavení budov, kde byly bezpečnostní systémy a systémy pro podporu bezpečnosti, což vedlo k nefunkčnosti nouzového generátoru.

Proto autoři [21] uvádí základní poučení, že při zajišťování bezpečnosti technologických komplexů je třeba zvažovat All Hazards (všechny možné pohromy) a propojení několika pohrom, jak požaduje práce [2].

5. Závěr

Inženýrství je široká disciplína, která řeší problémy od jejich pochopení, přes návrh řešení až po realizaci v daných podmínkách. Je hnací silou lidského vývoje, protože se zabývá i problémy, které je obtížné přesně řešit. K dosažení cíle používá kreativitu lidských jedinců a přístupy označované jako dobrá praxe. V současné době vychází ze systémového přístupu a pro zajištění současných cílů, kterými jsou bezpečný podnik, bezpečná komunita, bezpečný region atd. používá specifické disciplíny, které jsou charakterizované v pracích [2,3,8-10,16].

Platí, že inženýr řeší problémy praxe spojené s určitým objektem v jistých konkrétních podmínkách tak, aby řešení problémů plnilo požadované úkoly po celou dobu životnosti objektu či zařízení a přitom neohrožovalo objekt či zařízení ani jejich okolí. Přitom využívá existující znalosti a zkušenosti a dbá, aby nakládání se zdroji, silami a prostředky bylo hospodárné a podporovalo koexistenci základních systémů, které člověk potřebuje ke svému životu, tj. systému environmentálního, sociálního a technologického.

Platí, že když chceme řešit jistý problém, tak ho musíme nejprve poznat a pochopit, což lze provést jedině na základě:

- znalostí, které jsou založeny na sběru dat pozorováním a experimentováním a na formulování a testování hypotéz,
- aplikace správných metod, tj. metod, které jsou opakovatelné, průhledné, mají jasně definované veličiny, jednotky a terminologii.

Zkušenosti získané z japonských hodnocení souvisejících s havárií jaderné elektrárny Fuku-shima [20,21] ukazují, že zde při tvorbě zadávacích podmínek byla zanedbána historická data o velkých historických tsunami. Z dnešního pohledu *vlastně šlo o organizační havárii*, protože při výstavbě a provozu *byla opomínuta důležitá historická data*.

Na základě zkušeností z přípravy zadávacích podmínek pro výstavbu technologických komplexů s ohledem na zemětřesení [6] autorka konstatuje, že někteří čeští specialisté, počítají seismické ohrožení a dělají expertní vyjádření pro firmy, aniž by měli zkušenosti se sběrem a hodnocením primárních dat o zemětřeseních, neberou v úvahu povahu a přesnost dat, protože jim chybí komplexní poznání seismického režimu, a hlavně poznatky o existenci anomálií v rozložení dopadů, které lze získat pouze důkladným studiem map isoseist [17] a systematickým vyhodnocením existujících dat [3-6].

Vliv náhodných nejistot v datových souborech lze odstranit aplikací vhodných metod matematické statistiky, i když si je třeba uvědomit, že i při použití přístupu založeného na aplikaci přístupu *medián* $\pm 3\sigma$ (σ - směrodatná odchylka) je pokryto jen 98.2 možných případů [1]. Pro odstranění vlivu neurčitosti je nutno aplikovat vhodné expertní metody. Data a metodika jejich zpracování tvoří základ pro nové objevy i pro řešení inženýrských úloh. Metod, nástrojů a technik, které se používají v řízení a inženýrských disciplínách zaměřených na bezpečnost je velmi mnoho, některé z nich jsou obecně používané, jiné jsou používané jen ve spojení s bezpečností a některé z nich jsou používané jen pro řešení specifických případů problémů.

Chybám při inženýrském řešení problémů lze zabránit jen tím, že: použijeme kvalitní datové soubory, které obsahují i historická data, aby časová řada byla reprezentativní; věnujeme řádnou péči sběru dat a ověřování jejich kvality v širokých souvislostech; použijeme správnou metodiku zpracování dat, která je vhodná pro řešení daného problému; a správný přístup k řešenému problému.

Výsledky, uvedené jako poučení z havárie jaderné elektrárny Fuku-shima [20,21] potvrdily postoje prosazované v pracích [1-6,8,9], které zdůrazňují nutnost používání historických dat a hlavně nezanedbávání dat v oblasti velkých jevů odchýlných od trendu ostatních dat, protože obrázek 1 ukazuje, že lze pro prognózování chování území lze nesprávně použít nevhodnou zákonitost, což může mít fatální následky.

Uvedené výsledky jsou pro autorku jistou satisfakcí za boje s IT specialisty, kteří např. tzv. „dopřesňují data“, tj. přidávají desetinná místa k údajům, které jsou přesné na jednotky nebo vynechají

hodnoty, které se v četnostních grafech či scénářích příliš odlišují od okolí, přestože právě tyto hodnoty jsou důležité, protože ukazují anomálie, jak již ukázal nestor české geofyziky profesor Zátpek.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- [1] PROCHÁZKOVÁ, D. *Základy řízení bezpečnosti kritické infrastruktury*. ISBN:978-80-01-05245-7. Praha: ČVUT 2013, 223p.
- [2] PROCHÁZKOVÁ, D. *Safety of Complex Technological Facilities*. ISBN: 978-3-659-74632-1. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing 2015, 244p.
- [3] PROCHÁZKOVÁ, D. *Analýza zemětřesení ve Střední Evropě*. Doktorská disertační práce. Praha: GFÚ ČSAV 1984, 464p.
- [4] PROCHÁZKOVÁ, D. *Rizika spojená s pohromami a inženýrské postupy pro jejich zvládnutí*. ISBN 978-80-01-05479-6. ČVUT, Praha 2014, 234p.
- [5] HAYS, W. (ed.). *Global Blueprints for Change – Summaries of the Recommendations for Theme A „Living with the Potential for Natural and Environmental Disasters“, Summaries of the Recommendations for Theme B „Building to Withstand the Disaster Agents of Natural and Environmental Hazards“, Summaries of the Recommendations for Theme C „Learning from and Sharing the Knowledge Gained from Natural and Environmental Disasters*. Washington: ASCE 2001.
- [6] PROCHÁZKOVÁ, D. *Výpočty ohrožení pro kritické objekty*. Archiv.
- [7] PROCHÁZKOVÁ, D. The Comparison of the Results of the Different Procedure of the Calculating of the Magnitude - Frequency Relation. *Veröff. des ZIPE*, 18 (1972), pp. 68-70.
- [8] PROCHÁZKOVÁ, D., ROTH, Z. *Komplexní studium procesu vzniku zemětřesení ve střední Evropě*. Praha: ÚMV Praha 1996, 89p.
- [9] PROCHÁZKOVÁ, D., ŠIMŮNEK, P. *Fundamental Data for Determination of Seismic Hazard of Localities in Central Europe*. Praha: Institute of International Relations 1998, 132p.
- [10] PROCHÁZKOVÁ, D. *Analýza a řízení rizik*. ISBN: 978-80-01-04841-2. Praha: ČVUT 2011, 405p.
- [11] ZADEH, L. A. The Concept of a Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning I, II, III. *Information Sciences*, 8 (1975), pp. 199-257, 9 (1976), pp. 301-357, 9 (1976), pp. 43-80.
- [12] LUCAS, CH. *Quantifying Complexity Theory*. 2006, www.calresco.org/lucas/quantity.htm
- [13] DEMPSTER, A. P. Upper and lower probabilities induced by a multivalued mapping. *The Annals of Mathematical Statistics*, 38 (1967), No 5, pp. 325-339.
- [14] BEER, M., FERSON, S., KREINOVICH, A. Imprecise Probabilities in Engineering Analyses. *Mechanical Systems and Signal Processing* 37 (2013), pp. 4-29.
- [15] PROCHÁZKOVÁ, D., DEMJANČUKOVÁ, K. *Earthquakes, Hazards and Principles for Trade-off with Risks*. ISBN: 978-80-261-0170-3. Plzeň: University of West Bohemia 2012, 212p.
- [16] PROCHÁZKOVÁ, D., *Seismické inženýrství na prahu třetího tisíciletí*. Ostrava: SPBI SPEKTRUM XII 2007, ISBN 978-80-7385-022-7, 25p.+CD-ROM.
- [17] PROCHÁZKOVÁ, D., KÁRNÍK, V. (eds). *Atlas of Isoseismal Maps for Central and Eastern Europe*. Praha: Geoph. Inst. Czechosl. Acad. Sci. 1978, 325 p.
- [18] REUTERS. Great L'Aquila Earthquake 2009. May 15, 2009.
- [19] EU. Project SHARE. Brussels: EU 2013. www.share-eu.org
- [20] EPSTEIN, W. Not losing to the rain: What I learned when I learned about Onagawa. In: *Safety and Reliability of Complex Systems*. London: Taylor & Francis Group 2015. ISBN:978-1-138-02879-1 (Hbk+CD-ROM), pp. 365-371. ISBN:978-1-315-64841-5 (eBook pdf) www.crcpress.com – www.taylorandfrancis.com

- [21] KUMAR, M., WIELENBERG, A., RAIMOND, E. Post Fukushima lesson learned for Probabilistic Safety Assessment. In: *Safety and Reliability of Complex Systems*. London: Taylor & Francis Group 2015. ISBN:978-1-138-02879-1 (Hbk+CD-ROM), pp. 489-496. ISBN:978-1-315-64841-5 (eBook pdf) www.crcpress.com – www.tayloandfrancis.com

Poděkování:

Autorka děkuje za podporu EU a MŠMT, grant na projekt RIRIZIBE, CZ.02.2.69/0.0/0.0/16_018/0002649.

ADRESA AUTORA

Doc. RNDr. Dana Procházková, PhD., DrSc.

ČVUT v Praze, Fakulta strojní, katedra energetiky, Praha, Česká republika

e-mail:prochdana7@seznam.cz

RECENZIA TEXTOV V ZBORNÍKU

Recenzované dvomi recenzentmi, členmi vedeckej rady konferencie. Za textovú a jazykovú úpravu príspevku zodpovedajú autori.

REVIEW TEXT IN THE CONFERENCE PROCEEDINGS

Contributions published in proceedings were reviewed by two members of scientific committee of the conference. For text editing and linguistic contribution corresponding authors.