

MODELOVÁNÍ SOUVISLOSTÍ MEZI HROZBAMI

Radim Roudný, Ondřej Svoboda

Univerzita Pardubice, Fakulta ekonomicko-správní, Ústav ekonomiky a managementu

Abstract: *The article shows approach to model of relationship between threats. Many algorithms of risk analysis ignore the interrelationship between the events. For the present world are typical increasing interdependences of critical infrastructures and between risk events. The article shows examples of model of relationship between threats.*

Keywords: *Risk Analysis, Threats Interdependences, System Dynamics, Vensim PLE*

1. Úvod

Analýzu rizik lze jednoduše definovat jako technologii, která umožňuje pochopení jevů působící nebezpečí v daném zkoumaném systému [6]. Cílem je získání úplné znalosti o bezpečnosti systému. Získané výsledky analýz slouží k rozhodování jednotlivců či ekonomických subjektu. Bez ohledu na jejich směřování jsou výsledky analýz rizik často vstupními informacemi při ekonomickém rozhodování o volbě nápravných opatřeních působících proti nalezeným hrozbám.

Volba způsobu začlenění souvislostí mezi hrozbami do algoritmů modelů rizik hraje klíčovou roli při sestavování vypovídajících závěrů o předmětu analýzy. V případě hodnocení bezpečnosti stále více provázaných systémů a zařízení, je tato volba zásadním krokem ke zvýšení věrohodnosti soudů o bezpečnosti kritické infrastruktury [1].

Cílem příspěvku je zodpovězení otázky, jak zásadní vliv hraje v této oblasti zohlednění souvislostí při modelování hrozeb na celkový výsledek analýzy rizik. Dílčím cílem je ukázat využití softwarového nástroje Vensim PLE (verze 5.10a) [10] pro účely modelování zkoumaných systémů.

2. Vliv modelování souvislostí mezi hrozbami

V následující kapitole bude rozpracována otázka vlivu modelování souvislostí mezi hrozbami na celkové hodnocení rizik.

2.1 Proces analýzy rizik

Proces analýzy rizik je v odborné literatuře [6], [8] často popisován pomocí výčtu několika po sobě jdoucích úkonů. Obvykle zahrnuje následující kroky [6]:

- Určení předmětu analýzy (odpověď na otázky typu: „Co jsou chráněná aktiva?“, Kde končí hranice hodnoceného objektu – jak prostorové, tak i časové vymezení předmětu analýzy).

- Identifikace možných ohrožení (odpovědi na otázku: „Jaké možné hrozby existují –takové, které mohou mít vliv na stav chráněných aktiv?).
- Shromažďování údajů o frekvencích a účincích možných hrozeb nebo odhad či případná simulace těchto údajů.
- Vytvoření modelu hodnocení rizika (zde se řeší otázka návrhu složitosti modelu).
- Výpočet rizika a interpretace výsledků.

Následky hrozeb mohou být vyjádřeny různými způsoby. Obvykle se používá velikost ztrát na majetku, počet zraněných a mrtvých nebo ušlý zisk. Neméně často se používá vhodně konstruovaný syntetický ukazatel "významu hrozeb", který integruje několik veličin a vyjadřuje jejich subjektivní významnost pro hodnotitele [8].

Citlivější přístupy při výpočtu rizik zohledňují možné kaskádové efekty, které mezi hrozbami mohou nastat. Například metodika SFERA, která je podrobně popsána v [5], [7] používá k výpočtu velikosti rizik upravenou míru výskytu hrozeb o vliv vzájemných provázaností. Každá hrozba může být vyvolána hrozbou jinou. Pokud expert usoudí, že daná souvislost mezi hrozbami existuje, pak vstupuje do výpočtu velikosti rizik kromě pravděpodobnosti samovolného vzniku hrozby také další pravděpodobnost (ta vypovídá o tom, jak často nastane událost vlivem ostatních událostí). Často se kvůli zjednodušení výpočtu zanedbává možnost, že by mezi předchozími a následnými událostmi byly různé pravděpodobnosti výskytu podmíněných hrozeb – stanovuje se pouze „koeficient sekundárního výskytu hrozby“ [3]. Například koeficient = 100 odpovídá situaci, že každá vyvolaná událost je iniciována při každém 100-tém výskytu předcházející události.

2.2 Modelový příklad - vliv zohlednění souvislostí

Pro ilustraci nastíněného problému byl použit následující modelový příklad. V rámci analýzy rizik byl hodnocen následek čtyř událostí, které mají mezi sebou definovány příčinné vztahy. Vztahy událostí vyjadřuje Tab. 1:

Tab. 1: Tabulka vztahů mezi hrozbami – 1. modelový příklad

události	A	B	C	D
A	x	0	1	1
B	0	x	1	0
C	0	0	X	1
D	0	0	0	x

Zdroj: autoři

Hodnoty „1“ v tabulce vyjadřují skutečnost, že výskyt události příslušného řádku může vyvolat událost v příslušném sloupci. Například událost C může být vyvolána událostmi A a B a událost D může být vyvolána událostmi A a C (druhotně iniciovatelné události jsou v tabulce zvýrazněny šedým podbarvením).

Druhou důležitou vstupní veličinou modelového příkladu jsou velikosti následků, které mohou jednotlivé události způsobit na chráněných aktivech. Ve

zvoleném příkladu bylo pro zjednodušení uvažováno pouze jediné chráněné aktivum – majetek analyzovaného regionu.

Dále bylo pro potřeby příkladu stanoveno, že mezi chráněným aktivem a událostmi existuje vztah, který je vyjádřen pomocí Tab. 2:

Tab. 2: Tabulka velikostí ztrát vlivem působení hrozeb

Hrozba	Ztráty
A	25%
B	8%
C	10%
D	40%

Zdroj: autoři

Procenta v tabulce vyjadřují velikosti poškození chráněného aktiva při výskytu jednotlivých událostí.

Poslední skupinou vstupních údajů jsou roční frekvence výskytu událostí. Údaje jsou znázorněny v Tab. 3:

Tab. 3: Tabulka frekvencí hrozeb

Hrozba	P
A	0.04
B	0.03
C	0.01
D	0.02

Zdroj: autoři

Uvedené vstupní údaje byly použity pro výpočet hodnot v Tab. 4. Tabulka svými hodnotami dokládá odlišnost výsledků mezi použitými metodami hodnocení rizik. Hodnoty Tab. 4 představují velikost následků jednotlivých událostí na analyzovaném území (zkráceně „významnost hrozeb“).

Tab. 4: Tabulka významnosti hrozeb

Hrozba	1	2	3
A	47.1%	42.0%	34.9%
B	10.6%	9.4%	7.9%
C	4.7%	7.1%	5.9%
D	37.6%	41.5%	51.3%

Zdroj: autoři

První sloupec hodnot byl vypočten bez přihlídnutí k vazbám mezi hrozbami (jednalo se o prosté vynásobení velikostí možných ztrát a frekvencí výskytu hrozeb). Dle prvního sloupce je pořadí událostí seřazených podle následků od nejvíce pustošivé hrozby následující: A, D, B, C.

Hodnoty druhého sloupce odpovídají výsledkům algoritmu programu SFERA, která souvislosti z Tab. 1 již zohledňuje. Metodika programu SFERA však používá pro určení druhotné frekvence událostí „koeficient sekundárního výskytu hrozby“ [3]. Pro výpočet druhého sloupce hodnot byl použit koeficient = 10, což odpovídá situaci, že každá druhotně vyvolaná událost je iniciována při každém 10-tém výskytu prvotní události. Přesto, že se výsledky druhého sloupce od výsledků prvního sloupce odlišují, pořadí událostí zůstává stejné.

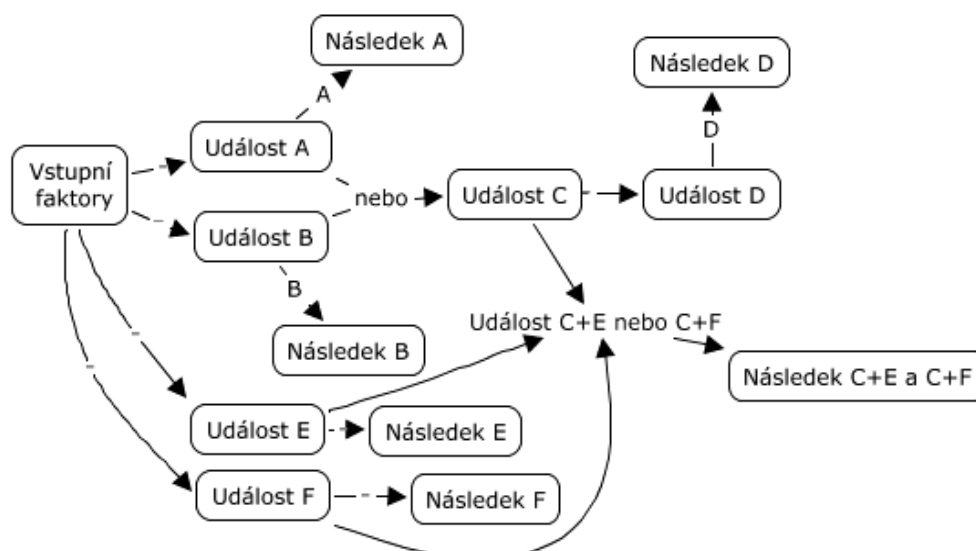
Poslední (třetí) sloupec hodnot je získán na základě rozšíření metodiky SFERA. Oproti původní metodice nebyl k jeho výpočtu použit „koeficientu sekundárního výskytu hrozby“. Uvedená změna algoritmu byla v příkladu reprezentována ruční úpravou parametrů události A, která vyvolává událost C a D a to z původní hodnoty (druhotný vznik události D při každém 10-tém výskytu události A) na hodnotu novou (druhotný vznik události D při každém druhém výskytu události A).

Hodnoty sloupců se postupně liší. Mezi prvním a druhým sloupcem dochází k navýšení významu pouze těch událostí, jejichž vznik je ovlivněn událostmi prvotními (jedná se o události C a D). Na druhé straně dochází k mírnému snižování významu událostí, které vznikají pouze prvotně (události A a B).

Mezi druhým a třetím sloupcem dochází k dalšímu posunu hodnot – a to díky modifikaci algoritmu (zvýšení frekvence druhotného výskytu události D). Na úkor ostatních událostí roste význam události D a dále klesá význam událostí A i B. Pořadí významu hrozeb se tak vlivem modifikace algoritmu mění na: D, A, B, C. Uvedený příklad dokládá, že pořadí významnosti hrozeb je za jinak stejných podmínek závislé na způsobu zohlednění souvislostí mezi hrozbami. Absence ale i zjednodušené zohlednění souvislostí má vliv na výsledné pořadí hrozeb.

3. Dynamický model souvislostí mezi hrozbami

Složitější situace nastává tehdy, pokud chceme vyjádřit komplikovanější vztah pro více hrozeb (Obr. 1):



Obr. 4: Schéma hodnocení následků hrozeb – varianta A

Zdroj: autoři

Na Obr. 1 je zachyceno celkem šest událostí a způsob, jakým se ovlivňují. Tab. 5 znázorňuje vztahy mezi hrozbami:

Tab. 5: Tabulka vztahů mezi hrozbami – 2. modelový příklad

	A	B	C	D	E	F
A	x	0	1	0	0	0
B	0	x	1	0	0	0
C	0	0	x	1	0	0
D	0	0	0	x	0	0
E	0	0	0	0	x	0
F	0	0	0	0	0	x

Zdroj: autoři

Problém nastává v případě zachycení vztahu mezi událostmi, které zesilují své účinky při souběžném výskytu (na Obr. 1 je tato situace reprezentována vazbou, kdy událost E nebo F působí společně s událostí C). Tato skutečnost musí být zachycena jiným způsobem než klasickou tabulkou vztahů příčin a následků. Zde se nabízí využití možností systémové dynamiky [11].

Pro namodelování uvedených vztahů byla použita aplikace Vensim PLE (verze 5.10a) [10]. Vensim PLE je jedním z mnoha softwarových nástrojů, který slouží k modelování a simulaci objektů socio-ekonomické reality. Principy metodiky tohoto softwarového nástroje jsou odvozeny od principů systémové dynamiky a výrazně usnadňují proces modelování a následné simulace [11].

V prostředí Vensim PLE byl navržen zjednodušený model pro dynamické hodnocení následků šesti událostí. Události jsou mezi sebou propojeny tak, jak bylo

popsáno na Obr. 1 a v Tab. 5. A přesto, že parametry navrženého modelu jsou čistě hypotetické, byla snaha nastavit je tak, aby alespoň řádově odrážely vztahy mezi reálnými událostmi. Hodnoty modelu byly odhadovány na základě [2], [4].

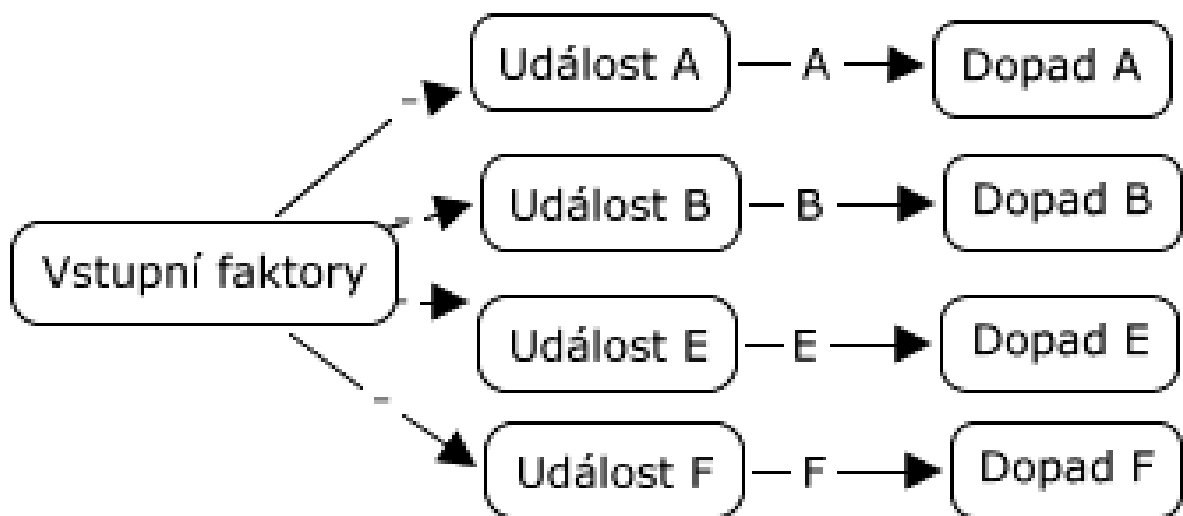
Cílem navrženého modelu bylo ukázat možnost modelování složitějších vztahů a simulovat výsledky ve dvou variantách. Varianta A představuje situaci, kdy jsou zohledněny všechny souvislosti mezi hrozbami (Obr. 1). Naproti tomu varianta B odpovídá absenci souvislostí v modelu (Obr. 2).

3.1 Popis modelu

Chráněná aktiva analyzovaného území (regionu) jsou představována obyvatelstvem a majetkem regionu. Pro analýzu rizik modelového příkladu byly vybrány události: povodně (událost A), lesních požáry (událost B), evakuace obyvatel (událost C), dva typy infekčních epidemií (epidemie Prasečí chřipky - událost E, epidemie Ptačí chřipky – událost F) a rabování - událost D. Vztah událostí znázorňuje obrázek (Obr. 1). Dynamický model vytvořený v prostředí Vensim PLE je znázorněn na Obr. 3. Each event is generated according to generator (it is based on randomness numbers - uniform probability distribut

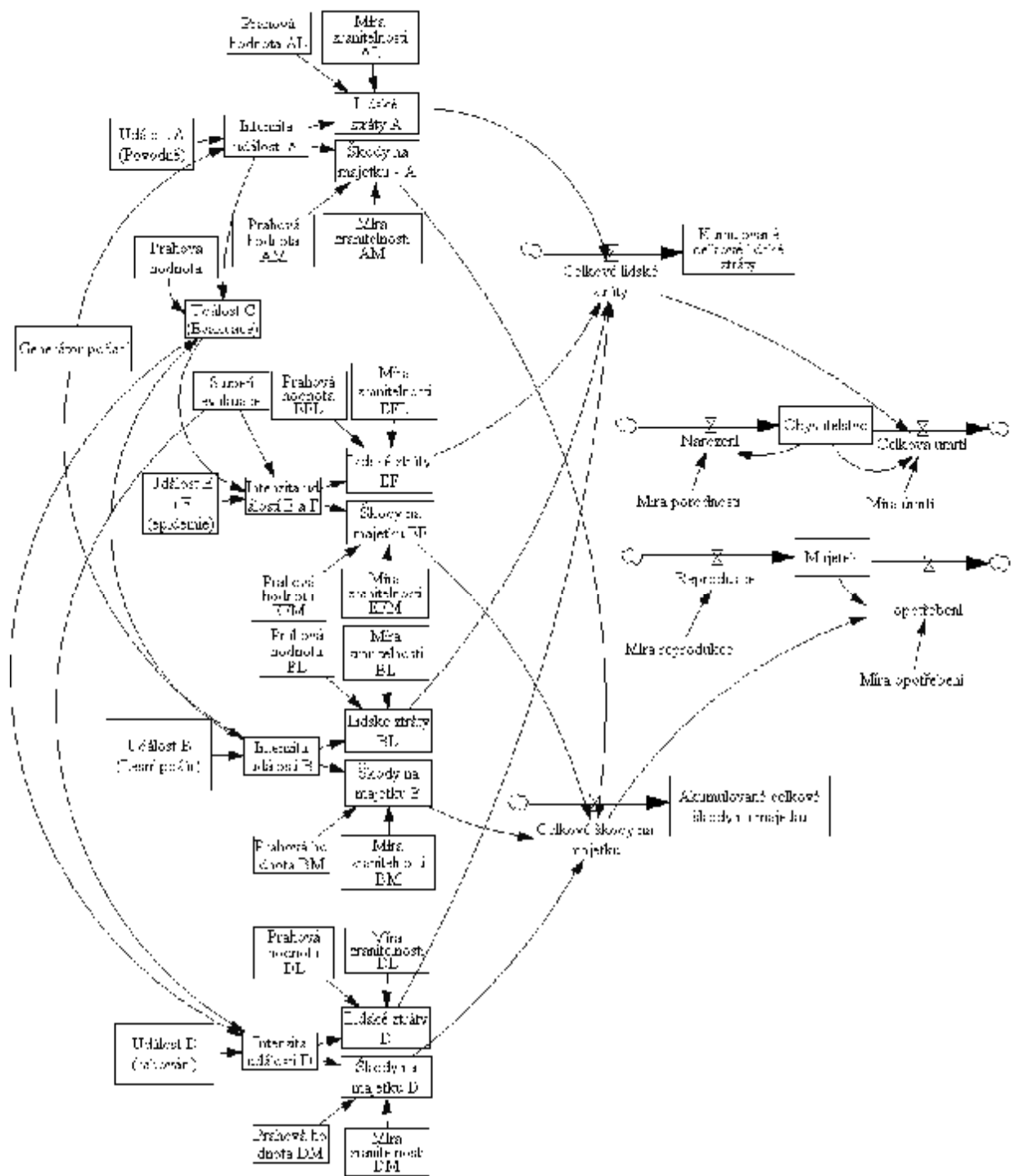
Základní principy modelu:

- Simulace vývoje následků hrozeb v regionu je provedena pro období 100 let (simulační krok je jeden rok).
- Výskyt každé události je generován náhodnými čísly (pro zjednodušení bylo vybráno rovnoměrné rozdělení pravděpodobnosti).
- Simulace je uskutečněna pro hypotetický region s výskytem zmíněných událostí.
- Model umožňuje provést dva odlišné výpočty: varianta A zohledňuje vzájemné vazby mezi hrozbami (Obr. 1), varianta B od nich odhlíží (Obr. 2).
- Každá hrozba působí vznik lidských ztrát nebo materiální škody.
- Výskyty a intenzity povodní a požárů jsou proměnlivé dle simulovaného počasí (suché a deštivé roky).
- K evakuaci obyvatelstva dochází v případě každé povodně nebo lesního požáru.
- Průvodním jevem evakuace může být rabování.
- Vedle zmíněných událostí dochází na území k různě velkým infekčním epidemiím.
- Současný výskyt epidemie a evakuace velkého počtu lidí má za následek fatální vliv na následky a rychlost šíření epidemie.



Obr. 2: Schéma hodnocení následků hrozeb – varianta B

Zdroj: autoři



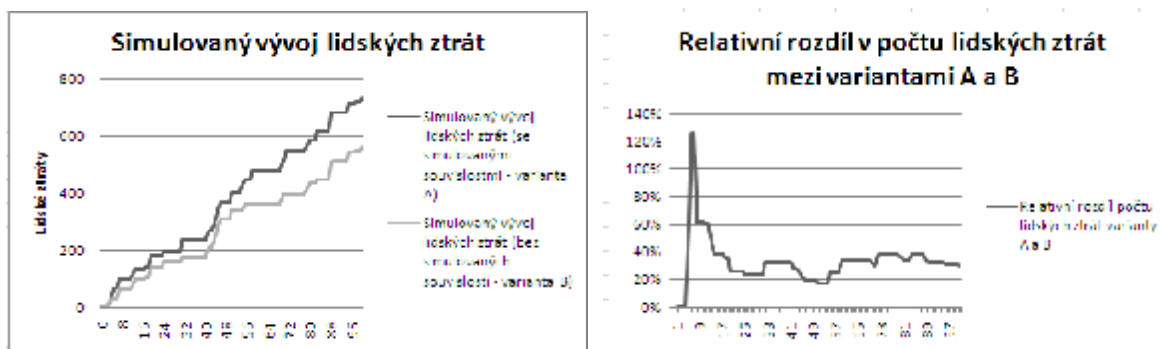
Obr. 3: Dynamický model hodnocení dopadu hrozeb – varianta A, Vensim PLE

Zdroj: autoři

3.2 Výsledky simulace modelu

Výsledky simulace na Obr. 4 odrážejí skutečnost odlišného zohlednění souvislostí ve variantě A a B. Graf vlevo zobrazuje vývoj celkových lidských ztrát pro obě varianty. Zřetelně je vidět postupně se zvětšující rozdíl mezi simulací zohledňujícího vztahy (tmavší křivka) a simulací vztahy nezohledňující (světlá křivka).

Graf na Obr. 4 vpravo znázorňuje relativní rozdíl lidských ztrát obou variant na základě vztahu $(A-B)/B$. Ukazuje se, že s vývojem simulovaného času se rozdíl postupně ustaluje na hodnotě přibližně 30%. Tento výsledek ilustruje problematiku modelování závislostí mezi hrozbami. Je závislý na konkrétních vstupních údajích a proto jej nelze zobecnit pro libovolný systém vztahů mezi hrozbami a chráněnými aktivy.

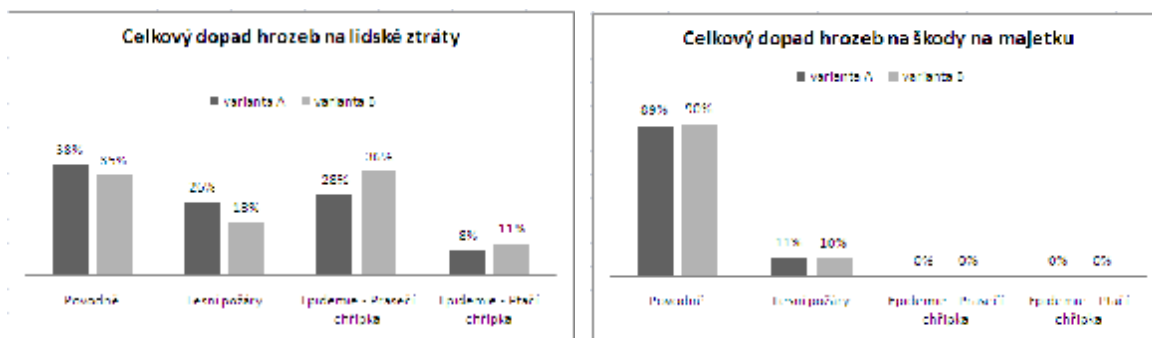


Obr. 4: Grafy vybraných charakteristik modelu – 2. modelový příklad

Zdroj: autoři

Výsledky simulace varianty A a B dávají výrazně odlišné výsledky v případě lidských ztrát, tak jak je ukázáno na Obr. 4 – graf vlevo. Je to dáno výrazným hypotetickým vlivem souběžného výskytu evakuace obyvatel a vypuknutím infekční epidemie.

Celková významnost hrozeb ve vztahu k materiálovým škodám (viz Obr. 5 – graf vpravo) je pro obě varianty téměř shodná. Zde se ukazuje, že modelování souvislostí mezi hrozbami může mít v některých případech zcela zanedbatelný dopad na celkový výsledek. V našem případě je to způsobeno poměrně malým vlivem materiálních škod při rabování na celkových materiálních škodách vyvolaných povodněmi a lesními požáry.



Obr. 5: Grafy významnosti hrozeb – 2. modelový příklad

Zdroj: autoři

Při rozhodování, zda zvolit složitější nebo jednodušší model záleží na velikosti škod vyvolaných druhotnými událostmi – pokud ty jsou k prvotním škodám relativně malé, pak bude jinak přínosný efekt modelování souvislostí zanedbatelný. Nabízí se tak možnost předběžných odhadů sekundárních následků a volba částečného (hybridního) způsobu modelování souvislostí. Tento způsob modelování by umožnil ušetřit čas a další prostředky použité na tvorbu složitějšího modelu hodnocení rizik.

4. Závěr

První modelový příklad ukazuje, že celkové pořadí hrozeb je za jinak stejných okolností závislé na způsobu zachycení souvislostí mezi hrozbami v hodnotícím algoritmu. V modelového příkladu byla navržena modifikace metodiky SFERA, která umožňuje věrněji zachytit možnosti souvislostí z reálného světa.

Druhý modelový příklad ukazuje, že vliv modelování souvislostí mezi hrozbami může být významný jen u části z možných následků událostí. Příklad dále ukázal způsob využití softwarového nástroje Vensim PLE pro simulaci příčinných a souběžně se vyskytujících událostí. Navržený model pomocí dynamické simulace ilustruje vliv souvislostí na celkový odhadovaný následek událostí.

Výsledky uvedené v textu se shodují s tvrzením, že složitost hodnotícího modelu a především zohlednění vztahů mezi hrozbami je jedním z významných faktorů, které mohou zásadním způsobem ovlivnit výpočet velikosti hrozeb [8]. Článek dokládá, že absence, ale i zjednodušené zachycení souvislostí mezi hrozbami má schopnost v určitých případech za jinak stejných podmínek významně deformovat výsledné pořadí významnosti hrozeb.

Tento příspěvek vznikl za podpory grantu č.: SP/4i2/60/07 Indikátory pro hodnocení a modelování interakcí mezi životním prostředím, ekonomikou a sociálními souvislostmi.

Použité zdroje:

- [1] CESES - Centrum pro sociální a ekonomické strategie [online]. 2010 [cit. 2010-09-08]. Problematika kritické infrastruktury. Dostupné z WWW: <http://www.ceses.cuni.cz/CESES-70-version1-KI_Bilek.pdf>.
- [2] Forestry [online]. 2008 [cit. 2010-09-28]. Forest Fire Basic. Dostupné z WWW: <http://forestry.about.com/cs/forestfire/a/good_bad_ugly.htm>.
- [3] KOVAŘÍK, F., KUPKA, R. *SFERA 2006: Příručka uživatele*. 1. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2006. 44 s. ISBN 80-86634-87-6.
- [4] *Povodí Odry - státní podnik* [online]. 2010 [cit. 2010-09-18]. Zprávy o povodních. Dostupné z WWW: <http://www.pod.cz/povodnovy_plan/PP-A9/PP-A9-1.htm>.
- [5] ROUDNÝ, R., LINHART, P. *Krizový management III : pro kombinovanou formu studia. Teorie a praxe rizika*. 1. vyd. Pardubice : Univerzita Pardubice, 2007. 174 s. ISBN 80-7194-924-8.
- [6] SMEJKAL, V., RAIS, K. *Řízení rizik ve firmách a jiných organizacích*. 2. vyd. Praha: Grada Publishing a.s., 2006. 300 s. ISBN 80-247-1667-4.
- [7] SVOBODA, Ondřej. Modely hodnocení rizik. In Sborník RESEARCH REPORT 2 – Aktuální problémy teorie a praxe v ekonomice II. Pardubice : UPCE. Fakulta ekonomiko-správní, s. 7. ISBN 978-80-7395-145-0.
- [8] TICHÝ, M. *Ovládání rizika*. Praha: C.H.BECK, 2006. ISBN 80-7179-415-5.
- [9] T-SOFT TEREX [online]. 2006 [cit. 2010-10-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.tsoft.cz/terex>>.
- [10] Vensim [online]. 2010 [cit. 2010-10-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.vensim.com/venple.html>>.
- [11] VOJTKO, V., MILDEOVÁ, S. *Dynamika trhu* Zeleneč: Profess Consulting, 2007. ISBN 978-80-7259-052-0.

Kontaktní adresa:

doc. Ing. Radim Roudný, CSc.
Univerzita Pardubice, Fakulta ekonomicko-správní
Studentská 84, 532 10 Pardubice
e-mail: radim.roudny@upce.cz
tel. č.: +420466036480

Ing. Ondřej Svoboda
Univerzita Pardubice, Fakulta ekonomicko-správní
Studentská 84, 532 10 Pardubice
e-mail: ondrej.svoboda@upce.cz
tel. č.: +420466036480