

METÓDY HODNOTENIA DOSLEDKOV DISFUNKCIE PRVKOV KRITICKEJ INFRAŠTRUKTÚRY

Jozef Klučka *

ABSTRAKT

V článku sú uvedené metódy, ktoré je možné aplikovať na kvantifikáciu dôsledkov disfunkcie prvku kritickej infraštruktúry. Aplikačný význam článku spočíva v tom, že kvantifikácia dôsledkov disfunkcie kritickej infraštruktúry (vyjadrené hodnotou strát) je podkladom pre začlenenie skúmaného prvku do systému kritickej infraštruktúry štátu a súčasne krokom v rámci kvantitatívnej analýzy rizika.

Kľúčové slová:

kritická infraštruktúra, kvantifikácia dôsledkov

ABSTRACT

There are published methods suitable for quantification of consequences of critical infrastructure dysfunction. The applied result of the paper is based on the quantification of consequences of critical infrastructure dysfunction (expressed by the losses) and this is also a basis for incorporation of an element into the National Critical Infrastructure as well as the step within quantitative risk analysis.

Key words:

critical infrastructure, outputs quantification

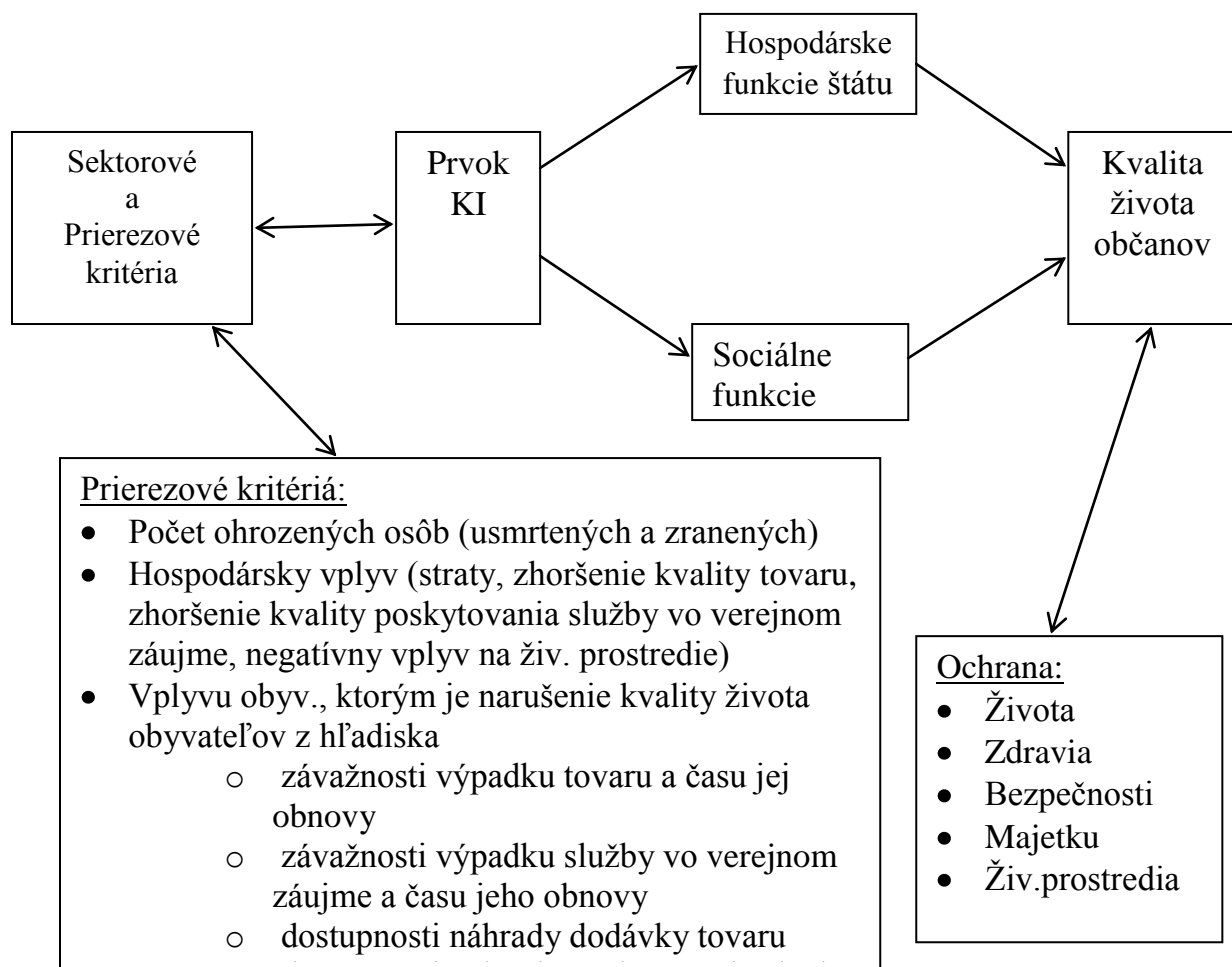
ÚVOD

Jedna z funkcií štátu je zabezpečiť ochranu a bezpečnosť obyvateľov. Globalizácia, rastúca závislosť systémov a zložitosť technológií spolu s zmenou klímy vytvárajú nové výzvy pre vlády a ich bezpečnostnú stratégiu. Prístup založený na identifikovaní významných aktív, ktoré sú vitálne pre plnenie základných funkcií štátu tvorí koncept kritickej infraštruktúry (KI).

^{*)} doc. Ing. Jozef Klučka, PhD., Fakulta špeciálneho inžinierstva, Katedra krízového manažmentu, ul.1.mája 32, Žilina, telefón: 041/516 6706, fax:041/5136620, e-mail:jozef.klucka@fsi.uniza.sk

1. Kritická infraštruktúra

Na Slovensku bol prijatý zákon č. 45/2011 Z.z. o kritickej infraštruktúre [1], ktorý vychádza z konceptu Európskej únie. Uvádza definíciu prvku kritickej infraštruktúry nasledovne: “Budova, služba vo verejnom záujme a informačný systém v sektore kritickej infraštruktúry, ktorých narušenie alebo zničenie by malo podľa sektorových kritérií a prierezových kritérií závažné nepriaznivé dôsledky na uskutočňovanie hospodárskej a sociálnej funkcie štátu, a tým na kvalitu života obyvateľov z hľadiska ochrany ich života, zdravia, bezpečnosti, majetku, ako aj životného prostredia“.



Obr.1 Definícia prvku KI s vyjadrením väzieb

Charakteristickou črtou KI je vzájomná závislosť (interdependency). Predstavuje vzájomný vzťah medzi dvoma prvkami infraštruktúry, prostredníctvom ktorého stav každej z nich ovplyvňuje alebo je v korelácii k stavu druhej infraštruktúry. Špecificky možno vzájomnú závislosť charakterizovať v dvoch úrovniach:

- prvá úroveň – systém vzťahov v rámci identifikovanej infraštruktúry (napr. sektor doprava),
- druhá úroveň:

- systém vzťahom k iným infraštruktúram, sektorom (napr. vzťah medzi dopravou a telekomunikáciami, bankami a finančnými inštitúciami),
- sprostredkovanie (coupling order) – označuje spojenie dvoch prvkov KI nepriamo (prostredníctvom jednej alebo viacerých sektorov) (porovnaj s [2]).

Existujú tri druhy disfunkcií v KI [2]:

- efekt kaskády – kedy disfunkcia v jednej infraštruktúre spôsobuje chybu elementu v druhej,
- efekt eskalácia – kedy existujúca porucha v jednej infraštruktúre zhoršuje nezávislé prerušenie v prvej,
- efekt spoločná príčina – kedy dve a viac infraštruktúr zlyhá súčasne.

Uvedený jav má významný dopad na:

- identifikovanie významu spoľahlivosti prvkov KI,
- identifikovanie vzájomných väzieb v sektore a medzi sektormi navzájom,
- chápanie ekonomických dôsledkov disfunkcie, diskontinuity prvku, sektoru a podsektoru KI.

2. Metódy hodnotenia dôsledkov disfunkcie prvkov kritickej infraštruktúry

Kvantitatívne metódy, ktoré je možné aplikovať na výpočet možných strát s dôsledku disfunkcie KI sú nasledovné:

- ekonometrické metódy – umožňujú vyjadriť vzťah celkovej výšky strát v závislosti na počte disfunkčných prvkov v rámci skúmanej KI,
- logické stromy – umožňuje vyjadriť celkovú výšku strát pre dekomponované udalosti katastrofy na činitele, pre ktoré je priradená pravdepodobnosť výskytu daného javu,
- simulácie - je metóda založená na napodobnení správania reálneho systému,
- aplikácia priamej kvantifikácie – je metóda, ktorá kvantifikuje potenciálne straty v rámci analýzy rizika; výpočet celkovej straty je tak odvodený od nákladov spojených s disfunkciou vybratých prvkov deterministickým modelom,
- aplikácia EP (angl. exceedence probability for a given loss) krivky a PML(probable maximum loss),
- aplikácia metódy náklady/výnosy (cost benefit analysis),
- aplikácia špecifických metód –náklady spojené so záchranou ľudských životov (implied cost of fatality ICAF) a tiež ročné očakávané straty (annualized loss expectancy ALE).

Samotný výpočet, kvantifikácia dôsledkov strát z titulu disfunkčnosti prvkov skúmaného systému môže byť (vzhľadom na obsah článku) nasledovný:

- výpočet dôsledkov disfunkčnosti prvkov systému a na ich základe rozhodnutie o zaradení/nezaradení prvku do kritickej infraštruktúry,
- výpočet dôsledkov disfunkčnosti prvku kritickej infraštruktúry a na základe tejto kvantifikácie aplikácia návrhov zvyšujúcich bezpečnosť a pružnosť (resilience) skúmaného prvku kritickej infraštruktúry a celého systému národnej/európskej kritickej infraštruktúry.

Ekonometrické metódy

Nech vstupné parametre pre kvantifikáciu výšky strát z dôvodu nefunkčnosti prvku/prvkov systému sú definované nasledovne:

$$Y = f(L_i), \text{ kde } i= 1,2\dots n \quad (1)$$

kde:

Y – výška celkových strát skúmaného systému v dôsledku disfunkcie prvku/prvkov systému,

L_i – výška strát v dôsledku výskytu troch druhov disfunkcií v systéme.

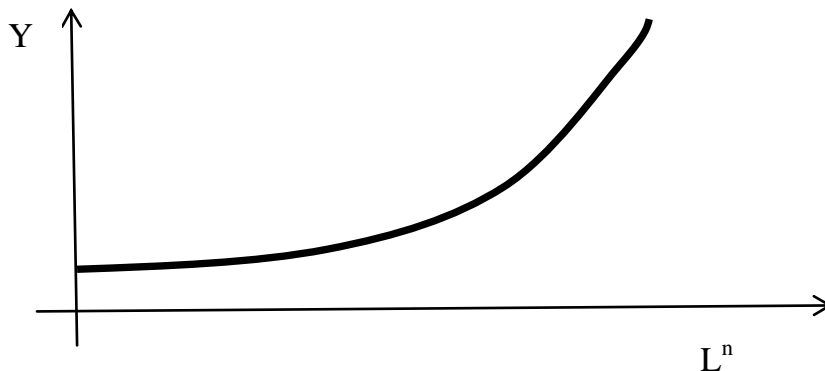
Vzhľadom na už spomenuté tri druhy disfunkcií prepokladám, že priebeh strát bude exponenciálny. Tomu bude zodpovedať príslušná funkcia a grafický priebeh:

$$Y = aL^n \quad (2)$$

kde:

a – konštanta,

L^n – výška strát v systéme v dôsledku disfunkcie n prvkov systému.



Obr.2 Exponenciálny priebeh strát v systéme

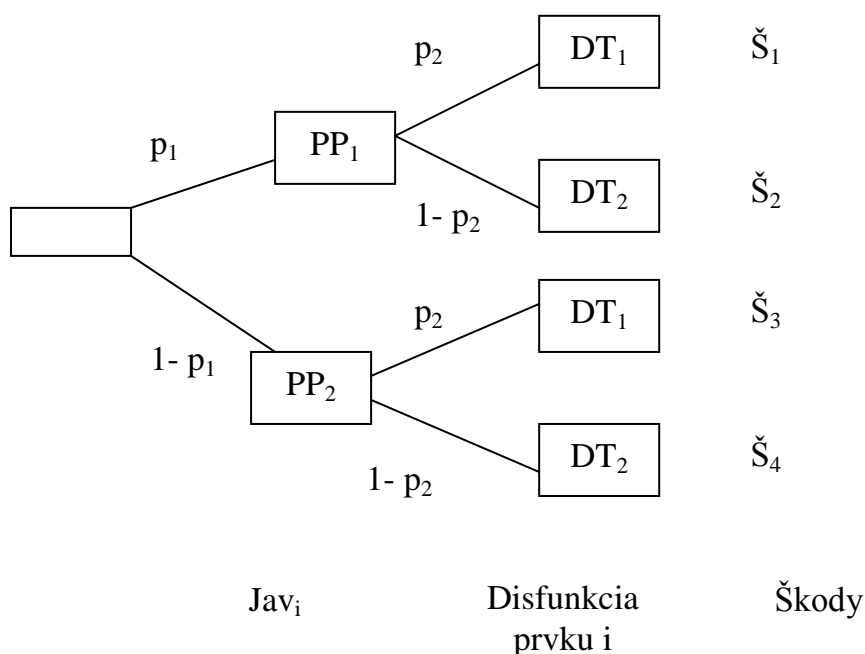
Aplikácia uvedeného prístupu kvantifikácie strát znamená, že:

- sú spracované jednotlivé scenáre disfunkcie prvkov systému (so zohľadnením uvedených troch druhov disfunkcií),

- sú definované výšky strát pre jednotlivé stavy systému (expertným odhadom),
- sa aplikuje metóda najmenších štvorcov pri aplikácii vybranej regresnej funkcie; rýchlym rozhodovacím kritériom je vypočítaný koeficient determinácie.

Logické stromy a simulácie [3,4]

Logické stromy predstavujú dekomponovanie udalosti katastrofy na činitele, pre ktoré je priradená pravdepodobnosť výskytu daného javu.



Obr.3 Logický strom a jeho aplikácia pri modelovaní katastrofy

Výsledná škoda je daná nasledovne:

$$\check{S}_i = \sum_{i=1}^n p_i * X_i \quad (3)$$

kde:

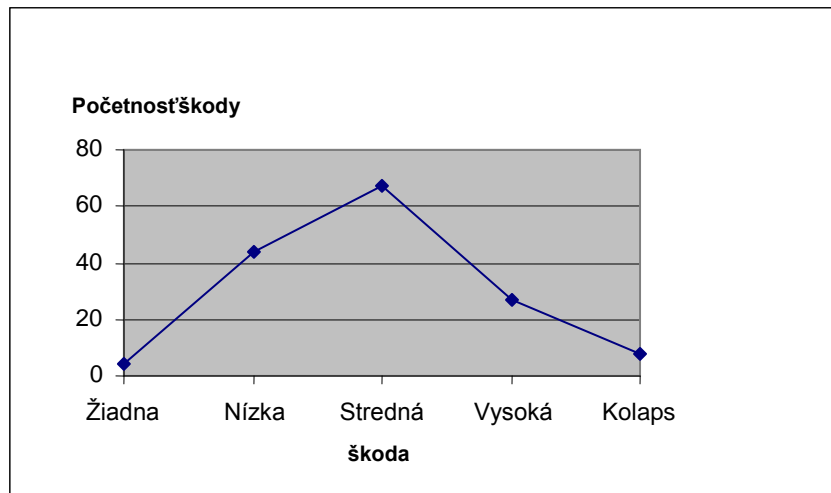
\check{S}_i je očakávaná škoda ako dôsledok disfunkcie,

p_i je pravdepodobnosť i-tej situácie,

X_i je hodnota činiteľa charakteristická pre i-tú situáciu.

Simulácia je metóda založená na napodobnení správania reálneho systému. Metóda anticipuje stochastické nazeranie na správanie sa reálneho systému – skúmaného javu.

Nech je výsledok simulácie znázornený na obr.3.



Obr. 4 Graf početnosti škody ako výsledok simulácie

Postup riešenia je nasledovný – pre vstupné dáta, ktoré sú dané analýzou dát v minulosti, resp. expertným odhadom sa generovali náhodné čísla generátorom náhodných čísel, ktorých vyhodnotením bol získaný graf vyjadrujúci vzťah veľkosti škody a početnosti. Z výsledku príkladu vyplýva, že výška škôd skúmanej katastrofy je s najväčšou početnosťou v kategórii nízka/stredná/vysoká s početnosťou 43/75/27 (uvedené je platné pre daný beh simulácie).

Priama kvantifikácia

Pre určenie stratu z titulu disfunkcie vybraného prvku systému je vypočítaná celková strata, ktorá vznikne v systéme. Celková strata môže byť vypočítaná ako:

- suma strát z titulu disfunkcie vybraného prvku/prvkov,
- funkcia celkovej straty, ktorá je závislá na počte disfunkčných prvkov a dobe trvania disfunkcie.

Uvedený prístup skôr inklinuje k ekonometrickému prístupu. Implicitne sú v ňom zakomponované tri druhy možných dôsledkov disfunkcií prvkov.

EP a PML krivky(EP angl. exceedance probability for a given loss) (PML angl. probable maximum loss).

Výskyt javu spôsobujúci disfunkciu prvku systému možno vyjadriť ročnou pravdepodobnosťou výskytu p_i a priradenou stratou L_i . Pre udalosti sa predpokladá, že sú nezávislé Bernoulliho náhodné premenné, pričom ich možno popísať [4].

$$P(E_i \text{ výskyt}) = p_i \quad (4)$$

Ak sa jav E_i nevyskytne, potom strata $L_i = 0$. Výška očakávanej straty (EL_i – angl. expected loss) danej udalosti E_i je daná:

$$EL_i = p_i * L_i \quad (5)$$

Celková strata pre všetky udalosti počas roku sa označuje priemerná ročná strata (AAL – angl. average annual loss) a je daná:

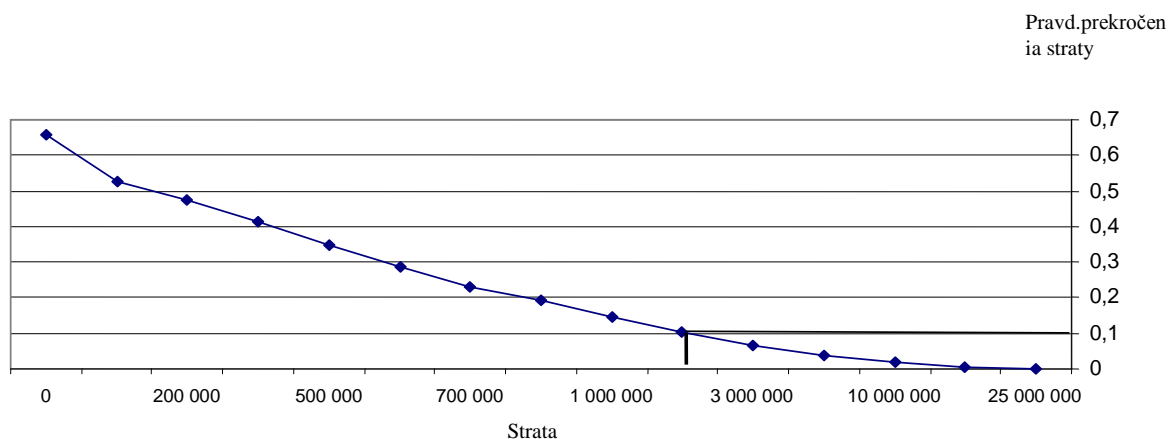
$$AAL = \sum_i EL_i = \sum_i p_i * L_i \quad (6)$$

Pravdepodobnosť prekročenia danej úrovne straty (angl. exceedence probability for a given loss) možno vypočítať nasledovne:

$$EP(L_i) = P(L > L_i) = 1 - P(L \leq L_i) = 1 - \prod_{j=1}^i (1 - p_j) \quad (7)$$

Výsledná hodnota EP (L_i) udáva hodnotu ročnej pravdepodobnosti, že strata prekročí danú hodnotu. EP krivka tak umožňuje určiť pravdepodobnú maximálnu stratu (PML angl. probable maximum loss). PML je subjektívna miera rizika.

Subjekt môže použiť EP krivku (obr.4) na určenie výšky straty, ktorá sa môže vyskytnúť na danej úrovne pravdepodobnosti. PML možno inverzne definovať ako ročnú pravdepodobnosť prekročenia danej úrovne straty. Pre danú frekvenciu výskytu udalosti spôsobujúcu disfunkciu prvku systému 1 krát za 10 rokov, čomu zodpovedá PML ako dolná hranica straty, ktorá udáva 10% pravdepodobnosť prekročenia na EP krivke. Z obr.4 vyplýva, že PML je približne 2 mil. €.



Obr.5 Priebeh straty v závislosti na pravdepodobnosti výskytu rizika
Zdroj: [vlastné spracovanie, 4]

Analýza nákladov/prínosov (Cost benefit analysis)

Kvantifikácia ekonomických dôsledkov disfunkcie systému z dôvodu výskytu mimoriadnej udalosti je významná, pretože poskytuje možnosť porovnania z pohľadu :

nákladov na prijaté opatrenia spojené s minimalizáciou pravdepodobnosti výskytu disfunkcie a prínosov, ktoré plynú z tejto investície.

Investícia je akceptovateľná pri zohľadnení aj sociálnych aspektov s ňou spojených ak benefity prevážia náklady, čo znamená, že výraz (8) bude väčší ako nula.

$$NPV = -I_0 + \sum_{t=1,2,\dots,T} \frac{B(x_t) - C(x_t)}{(1+i)^t} \quad (8)$$

kde:

I_0 investičné náklady v roku 0,

$B(x_t)$ benefity v roku t,

$C(x_t)$ náklady v roku t,

i diskontná sadzba zohľadňujúca sociálne činitele.

Z uvedeného vyplýva, že metóda analýzy nákladov/prínosov môže byť použitá na kvantifikáciu strát, s tým že nepredpokladá žiadnu investíciu. V takom prípade uskutočňujeme výpočet strát s ohľadom aj na mimoekonomické (sociálne) kategórie. V prípade jej aplikácie v úlohe identifikácie prvku kritickej infraštruktúry to bude prvok s najvyššou hodnotou nákladov, ktorý bude do množiny prvkov kritickej infraštruktúry začlenený. V prípade úlohy skúmajúcej opodstatnenosť danej investície pre minimalizáciu dôsledkov na prvok kritickej infraštruktúry bude vybratá investícia, ktorá maximalizuje NPV.

Aplikácia analýzy nákladov/prínosov s využitím ALE (uvedené nižšie) je nasledovná[5]:

$$\text{Hodnota chráneného prvku systému} = \frac{ALE_{pred} - ALE_{po}}{N} \quad (9)$$

kde:

ALE_{pred} je hodnota chráneného prvku pred implementáciou opatrení,

ALE_{po} je hodnota chráneného prvku po implementácii opatrení,

N sú ročné náklady na opatrenia zvyšujúce bezpečnosť prvku systému.

Aplikácia špecifických metód –náklady spojené so záchranou ľudských životov (implied cost of fatality ICAF) a tiež ročné očakávané straty (annualized loss expectancy ALE).

Náklady spojené so záchranou ľudských životov možno vyjadriť ako funkciu hrubého domáceho produktu na obyvateľa (g) a primernej dĺžky života (e)[6].

$$ICAF = \frac{g}{e} \cdot e^{1-w} \quad (10)$$

4 w

kde:

w – konštanta (v článku [6] odporúčané w=0,125).

Výpočet ročnej odhadovanej straty (ALE annualized loss expectancy) z titulu disfunkcie prvku systému sa určí v nasledovnej sekvencii krokov [5]:

- určenie faktora hrozby (EF exposure factor), udáva percentuálnu stratu aktív identifikovanou hrozbou v %,
- určenie očakávanej straty (SLE single loss expectancy) pre dané aktíva.

$$SLE = \text{Hodnota aktív} \times EF \quad (11)$$

- výpočet ročnej miery výskytu (ARO Annualized Rate of Occurrence), udáva výskyt hrozby v ročnom cykle, ARO=0,1 znamená hrozbu, ktorá sa vyskytuje jedenkrát za desať rokov,
- výpočet ALE.

$$ALE = SLE \times ARO \quad (12)$$

V praktickej aplikácii sa predpokladá pre definovanú hodnotu aktív a tomu korešpondujúci scenár vyjadrenie ALE. Čím je hodnota vyššia tým je kritikalita daných aktív významnejšia pre fungovanie analyzovaného systému. Do systému kritickej infraštruktúry sú potom prijaté prvky, ktoré vykazujú najvyššiu hodnotu odhadovanej ročnej straty.

Pre kvantifikáciu strát je významný časový aspekt trvania disfunkcie prvku. Trvanie disfunkcie môže pre prvok znamenať výšku strát odpovedajúcu požiadavke pre jeho začlenenie do KI. Disfunkcia toho istého prvku s obmedzeným trvaním môže umožniť relatívne rýchlu obnovu. V takomto prípade výška strát nevykazuje extrémne hodnoty.

Kvantifikácia strát S v dôsledku disfunkcie prvku systému je preto funkciou, ktorú možno všeobecne vyjadriť nasledovne:

$$S = f(E_{p,t}, E_{n,t}, E_{neh,t}) \quad (13)$$

kde:

t – je čas (doba trvania) disfunkcie,

E_p sú ekonomické straty priame,

E_n sú ekonomické straty nepriame,

E_{neh} sú ekonomické straty nehmotné .

ZÁVER

Problém identifikácie prvkov KI je spojený s kvantifikáciou strát. Preto je nevyhnutné identifikovať metódy, ktoré umožňujú takúto kvantifikáciu. Problém je však zložitý v tom, že v článku uvedené tri druhy disfunkcií vytvárajú extrémne množstvo potenciálnych scenárov, ktoré by boli predmetom kvantifikácie strát. V realite preto predpokladám, že celá množina potenciálnych prvkov a ich väzieb sa zúži na scenáre, ktoré zodpovedajú množine prípustných riešení (možnej výskytu disfunkcie v skúmanom systéme s vyššou pravdepodobnosťou). Pre takýto scenár sú

kvantifikované straty; scenáre, ktoré maximalizujú straty súčasne predstavujú prvky a väzby, ktoré sú začlenené do KI –národnej alebo európskej.

Článok bol publikovaný v rámci projektu APVV-0471-10 Bezpečnosť kritických infraštruktúr v doprave

LITERATÚRA

- [1] Zákon NR SR č. 42/1994 Z.z. o civilnej ochrane obyvateľstva
- [2] RINALDI, S., M. at all :*Identifying, Understanding and Analyzing Critical Infrastructure Interdependencies*, IEE Control Systems Magazine, 2001, USA, (cit. 01-04-2012), (dostupné na: <http://www.ce.cmu.edu/~hsm/im2004/readings/CII-Rinaldi.pdf>)
- [3] KLUČKA, J.: *Prístupy ku kvantifikácii dôsledkov disfunkcie kritických infraštruktúr*. Zborník z 17. vedeckej konferencie FŠI, Žilina, 2012, str. 277-283, ISBN 978-80-554-0534-6
- [4] GROSSI,P., KUNRENTHER,U. ed.: *Catastrophe Modeling*, Berlin, Springer, 2005, ISBN 0-387-23082-3
- [5] TAN, D.: *Quantitative Risk Analysis Step-By-Step*. SANS Institute, 2003, USA, str.21(cit. 11-04-2013) dostupné na:http://www.sans.org/reading_room/whitepapers/auditing/quantitative-risk-analysis-step-by-step_849
- [6] SKJONG,R., RONOID, K.,O. *Societal Indicators*. Int. Conference on Offshore Mechanics,1998, (cit 14-04-2013) dostupné na: research.dnv.com/skj/papers/OMAE98.pdf
- [7] *O kritériách pro určení prvku kritické infrastruktury*. (2010), nariadenie vlády ČR, [cit. 2012-6-28],dostupné na: http://www.google.sk/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&sqi=2&ved=0CFYQFjAA&url=http%3A%2F%2Faplikace.mvcr.cz%2Fsbirka-zakonu%2FViewFile.aspx%3Ftype%3Dz%26id%3D21413&ei=u-PeT5LiNcX_4QTPgoXYCg&usq=AFQjCNFSoyc8iLBNZuMDww5ZhN-WrgXIIQ&sig2=0UIHJF9dJMHTpy1PoGqj4Q
- [8] KLUČKA,J.: *Critical Infrastructure and its Economy*. In.: MEST Journal 2013, Beograd, str.1-7, ISSN 2334-7058
- [9] *Critical Infrastructure Resilience Strategy*, Australian government, 2010, Canberra (cit 14-04-2013)(dostupné na: www.ag.gov.au/cca)
- [10] *Keeping the Country Running: Natural Hazards and infrastructure*, 2011, Cabinet Office, London, UK, (cit 14-04-2013) (dostupné na: www.cabinetoffice.gov.uk/ukresilience)

Článok recenzovali dvaja nezávislí recenzenti