

# **Základné východiska kvantitatívneho modelovania rizika**

## **Foundations of quantitative modelling of risks**

**Katarína Kampová**

Žilinská univerzita v Žiline

Fakulta bezpečnostného inžinierstva

Katedra bezpečnostného manažmentu, Ul. 1 mája 32, Žilina, Slovenská republika

Katarina.Kampova@fsi.uniza.sk

### **Abstrakt**

Článok pojednáva o základných východiskách a predpokladoch analýzy rizík prostredníctvom kvantitatívneho modelu rizika. Popisuje možnosti modelovania rizika a jeho parametrov v kvantitatívnej analýze prostredníctvom subjektívnej pravdepodobnosti a objektívnej pravdepodobnosti. Poukazuje na základný cieľ analýzy rizík, ktorý je možné dosiahnuť pomocou popísania a interpretácie neurčitostí spojených s analyzovaným rizikom, a to na základe vhodne zvoleného kvantitatívneho modelu rizika.

**Kľúčové slová:** riziko, analýza, neurčitosť, model

### **Abstract**

The article deals with the foundations and assumptions of risk analysis based on quantitative model of a risk. It describes the possibilities of modelling of a risk and its parameters within the quantitative analysis using subjective and objective probabilities. It also highlights the fundamental objective of risk analysis, which can be achieved by describing and interpreting uncertainty associated with the analyzed risk, based on a suitably chosen quantitative risk model.

**Key words:** risk, analysis, uncertainty, model

## **VÝCHODISKA KVANTITATÍVNEJ ANALÝZE RIZÍK**

Kvantitatívna analýza rizík predstavuje proces numerického skúmania a odhaľovania súvislostí vzniku a existencie rizík a ich dopadov na záujmy a ciele zaistenia bezpečnosti. Úlohou kvantitatívnej analýzy rizík je získať informácie, ktoré sú vstupom pre hodnotenie rizík a sú nevyhnutné pre kvalifikované rozhodovanie a voľbu najvhodnejších stratégií a nástrojov pre riadenie rizík.

Kvantitatívna analýza rizík zahŕňa numerické preskúmanie existencie rôznych zdrojov rizík, udalostí a ich následkov a možností výskytu týchto následkov. Spôsob akým sú v analýze rizík vyjadrené následky a možnosť ich vzniku a spôsob, akým sú kombinované pre určenie úrovne rizika je závislý od typu rizika, dostupnosti informácií a od účelu, pre ktorý je výstup posudzovania rizík určený. Pri kvantitatívnej analýze rizík je dôležité, aby neurčitosť, s ktorou sa v analýze rizík stretávame bola zdôraznená a riadne komunikovaná osobám zodpovedným za rozhodnutia a prípadne aj ďalším zainteresovaným stranám.

V tejto súvislosti je potrebné si uvedomiť do akej miery poskytuje kvantitatívna analýza rizík objektívny obraz o skúmanom riziku, pričom objektívnosť je v tomto zmysle chápaná tak, že výsledok analýzy je nezávislý od názoru a znalostí hodnotiteľa, resp. analytika. Inými slovami,

objektívnu analýzu je možné zreplikovať rôznymi analytikmi s rovnakým výsledkom v danom čase a mieste.

Objektívnosť analýzy rizík a nezávislosť jej výsledkov na znalostiach analytika závisí na existencii objektívnych znalostí, v zmysle konsenzuálnej interpretácie existujúcich informácií o skúmanom riziku. Neexistencia objektívnych znalostí je tak primárnym obmedzením, na základe ktorého nie je možné vo všeobecnosti považovať výsledky kvantitatívnej analýzy rizík za objektívne vzhľadom na ich nezávislosť od hodnotiteľa. Toto obmedzenie definuje možnosti interpretácie rizika pri kvantitatívnej analýze, ktoré je vo všeobecnosti možné zúžiť na interpretáciu subjektívnou pravdepodobnosťou a interpretáciu prostredníctvom tzv. objektívnej, resp. frekventistickej pravdepodobnosti.

Subjektívne pravdepodobnosti sú nevyhnutným spôsobom vyjadrenia miery neurčitosti vo väčšine praktických aplikácií, keďže veľakrát sú analyzované situácie unikátne a teda pri nich neexistuje vhodný štatistický súbor, ktorý je potrebný pre vytvorenie objektívnych pravdepodobností. Subjektívne pravdepodobnosti sú zo svojej podstaty závislé na znalostiach a názoroch konkrétneho posudzovateľa a je zjavné, že ako také nemôžu spĺňať kritérium pre realizáciu objektívnych výsledkov kvantitatívnej analýzy rizík nezávislých od posudzovateľa.

Pri frekventistickej pravdepodobnosti je riziko interpretované ako relatívna početnosť štatistického súboru. Existencia vhodného štatistického súboru je tak základnou a nevyhnutnou podmienkou pre použitie tohto typu pravdepodobnosti a s ním spojených kvantitatívnych metód. Vhodnosť štatistického súboru je posudzovaná z pohľadu množstva údajov a ich relevantnosti vzhľadom na odhadovaný štatistický parameter. Kvantita (množstvo údajov) a kvalita (relevantnosť údajov) sú často protichodné ukazovatele štatistického súboru, keďže v prípade keď nie je k dispozícii dostatočné množstvo údajov, tak spôsob ako zväčšiť štatistický súbor je jeho rozšírenie o pozorovania, ktoré pokrývajú situácie, ktoré sa do istej miery odlišujú od tých, ktoré sú v skutočnosti analyzované. Relevantnosť štatistického súboru je teda kritickým prvkom pre realizáciu kvantitatívnej analýzy rizík s objektívnymi výsledkami [4].

Keďže je zjavné, že kvantitatívna analýza rizík nemusí za každých okolností poskytovať objektívne výsledky v zmysle ich nezávislosti od znalostí posudzovateľa, je dôležité si ujasniť čo je vlastne cieľom analýzy rizík. Vo všeobecnosti je možné považovať za primárny cieľ kvantitatívnej analýzy rizík poskytnutie relevantných podkladov pre rozhodovanie o zaobchádzaní s rizikom prostredníctvom posúdenia a popísania neurčitostí spojených s analyzovaným rizikom.

Riziko popisuje neurčité aspekty reálneho sveta, ktoré sú v kvantitatívnej analýze rizík vyjadrené veličinami  $X$  (napr. výskyt nehody, výskyt narušenia objektu, a pod.). Neurčitosť veličín  $X$  je možné vyjadriť prostredníctvom pravdepodobností  $P_X$ . Tu je potrebné si uvedomiť, že pravdepodobnosť  $P_X$  nie je nevyhnutne definovaná odhadom rozdelenia pravdepodobnosti, ktoré je vytvorené na základe historických pozorovaní. Aj keď historické pozorovania môžu byť vhodným zdrojom pri odhade pravdepodobnosti  $P_X$ , táto pravdepodobnosť je vo všeobecnosti subjektívna pravdepodobnosť založená na znalostiach analytika vyjadrujúca jeho mieru neurčitosti vzhľadom na posudzované riziko.

Cieľom kvantitatívnej analýzy rizík je popísať neurčitosť rizika. Pri popisovaní neurčitostí je potrebné si vždy ujasniť (Aven, 2010):

- a) čoho sa neurčitosť týka,
- b) koho neurčitosť to je.

Vo väčšine prípadov je možné a) zredukovať na množinu veličín ako sú náklady, výskyt udalosti alebo počet úmrtí a odpoveďou na b) je, že neurčitosť je neurčitosťou analytika, aj keď v istých prípadoch je potrebné prezentovať posúdenia odrážajúce rôzne expertné pohľady. Explicitné zdôraznenie a komunikovanie oboch týchto aspektov neurčitosti je nevyhnutné na

to, aby ten kto rozhoduje na základe kvantitatívnej analýzy rizík získal jasné poznanie pozadia a spôsobu posudzovania neurčitosti, ktorá je súčasťou analyzovaného rizika. Z tohto dôvodu je vhodné popísanie neurčitosti rizika základom pre relevantné rozhodovanie a interpretáciu výsledkov kvantitatívnej analýzy rizík.

## Kvantitatívny model rizika

Účelom kvantitatívnej analýzy rizík je podpora rozhodovania pri rozhodnutiach o zaobchádzaní s rizikami, resp. v prípade že je to relevantné o implementácii opatrení na zredukovanie alebo zamedzenie vzniku rizík a ich negatívnych dôsledkov. Podstatou kvantitatívnej analýzy je kvantitatívne spracovanie neurčitých parametrov determinujúcich riziko, na základe ktorého je možné popísať neurčitosť analyzovaného rizika. Východiskom pre kvantitatívne spracovanie parametrov vyznačujúcich sa neurčitosťou je kvantitatívny model, v rámci ktorého je riziko vysvetľované pomocou týchto parametrov, pričom sú rešpektované stanovené predpoklady.

Model je vo všeobecnosti možné chápať ako zjednodušené zobrazenie skúmaného systému prostredníctvom určitého formalizovaného jazyka. V prípade kvantitatívneho modelu rizika je skúmaným systémom štruktúra vzťahov medzi entitami ovplyvňujúcimi veľkosť analyzovaného rizika a formalizovaným jazykom sú matematické formulácie umožňujúce spracovanie a interpretáciu modelu prostredníctvom exaktných a numerických matematických metód. Kvantitatívny model teda reprezentuje určitú časť reálneho sveta, ktorú popisuje pomocou kvantitatívnych vzťahov za účelom pochopenia podstaty skúmaného rizika. Vo všeobecnosti má kvantitatívny model formu nasledujúceho vzťahu  $r = G(\mathbf{x})$ , kde  $\mathbf{x}$  je vektor parametrov modelu reprezentujúcich entity reálneho sveta, ktoré ovplyvňujú veľkosť rizika  $r$  a  $G$  je predpis, prostredníctvom ktorého je možné kvantitatívne určiť veľkosť rizika  $r$  na základe hodnôt parametrov  $\mathbf{x}$ .

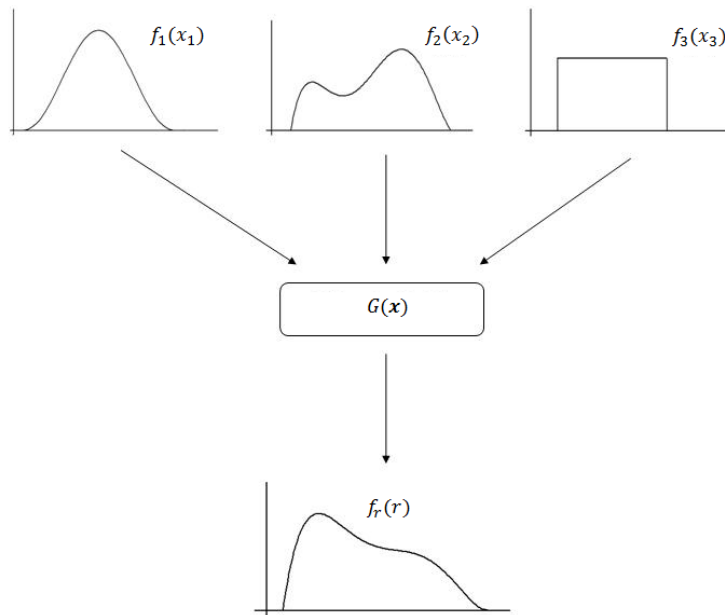
Kvantitatívny model rizika je teda postavený na vektore neurčitých parametrov  $\mathbf{x}$ . Aby mal tento model zmysel z pohľadu posudzovania výsledkov, ktoré je prostredníctvom neho možné získať, je nevyhnutné, aby parametre modelu boli jasne interpretovateľné. Vyjadrovať neurčitosť parametrov, ktoré nie sú jednoznačne definované je problematické a vedie k výsledkom, ktoré sú vzhľadom na ich nejasnú interpretovateľnosť sporné. Typickým príkladom nevhodne použitých parametrov modelu je zavedenie parametra vyjadreného frekvenčnou neurčitosťou založenou na fiktívnom súbore údajov, k čomu často dochádza v prípade, že sa jedná o parameter, ktorý vyjadruje unikátnu situáciu a neexistujú reálne historické údaje.

Pri vytváraní modelu je vždy potrebné zvážiť, akým spôsobom môže model zlyhávať pri reprezentácii reality. Preto je pri kvantitatívnej analýze nevyhnutné si vyjasniť čoho sa neurčitosť týka, resp. čo je predmetom posudzovania neurčitosti a čo je možné považovať za fixné. Inými slovami, je potrebné si stanoviť určité predpoklady. Kvantitatívny model rizika je založený na matematickej abstrakcii, ktorú nikdy nie je možné realizovať bez toho, aby neboli stanovené takéto predpoklady. Výsledok analýzy je následne potrebné vždy vidieť a interpretovať vo svetle týchto predpokladov.

Stanovenie predpokladov a úrovne abstrakcie vnáša do procesu vytvárania modelu subjektívny charakter, pretože závisí od rozhodnutí analytika, ktorý si musí zvoliť spôsob, akým vytvorí model, ktorý je dostatočne jednoduchý vzhľadom na jeho spracovanie kvantitatívnymi metódami a zároveň reprezentuje pomerne zložitú realitu. Analytik sa musí rozhodnúť, ktoré časti reality sú z pohľadu analýzy nepodstatné a nemusia byť zahrnuté do modelu. Týmto sa do modelu dostáva neurčitosť, ktorá závisí od samotnej formy modelu, ktorá sa často označuje aj ako modelová neurčitosť.

## Formy kvantitatívneho modelu

Forma kvantitatívneho modelu predstavuje rámec, ktorý v sebe zahŕňa štruktúru, pravidlá určujúce hranice a spôsob reprezentácie parametrov modelu a vzťahov medzi nimi, spôsob interpretácie výsledkov a postupy kvantitatívneho spracovania modelu. Vo všeobecnosti kvantitatívny model a jeho konkrétna forma zachytáva spôsob, ktorým sa parametre modelu  $\mathbf{x} = (x_1, x_2, x_3, \dots)$  transformujú prostredníctvom vzťahov definovaných predpisom  $G(\mathbf{x})$  na výstup modelu  $r$  (viď. Obrázok 1).



**Obrázok 1: Kvantitatívny model rizika**

Neurčitý parameter modelu  $x_n$  môžeme vnímať ako náhodnú premennú  $X_n$ , ktorej hodnotu  $P[X_n < x_n]$  definuje rozdelenie pravdepodobnosti  $f_n(x_n)$ , ktoré tak vyjadruje jeho stochastické správanie. Neurčitosť rizika  $r$ , je určená rozdelením pravdepodobnosti  $f_r(r)$ . Funkčný vzťah  $G(\mathbf{x})$  modeluje tzv. prenos neurčitosti zo vstupných parametrov na výstupné riziko.

Kvantitatívny model rizika môže mať vo všeobecnosti rôznu formu, ktorá môže byť viac či menej vhodná, v závislosti od modelovanej situácie, dostupnosti informácií alebo použitých kvantitatívnych metód. Najpoužívanejšie formy kvantitatívnych modelov zahŕňajú deterministické modely, stromy udalostí a simulačné modely.

Medzi jednoduchšie formy kvantitatívnych modelov patria deterministické modely, ktoré sú základom „what-if“ analýzy. Deterministické modely sú založené na bodových odhadoch jednotlivých parametrov modelu, prostredníctvom ktorých je možné stanoviť výstup modelu. Analýzou citlivosti je následne možné skúmať, ako veľmi sa výstup modelu odlišuje od reality, prostredníctvom skúmania rôznych kombinácií odhadov pre jednotlivé parametre. Tieto jednotlivé kombinácie sa používajú na interpretáciu optimistických, realistických a pesimistických scenárov.

Stromy udalostí, resp. rozhodovacie stromy predstavujú formu kvantitatívneho modelu, prostredníctvom ktorej je možné popísať postupnosť udalostí, spolu s pravdepodobnosťami ich výskytu a veľkosťou ich dôsledku. Táto forma modelu je veľmi intuitívna a vďaka jednoduchým matematickým postupom výpočtu podmienených pravdepodobností predstavuje vhodný spôsob modelovania pravdepodobnostných postupností. Jednou z variant tejto formy je

aj strom porúch, ktorý ale pristupuje k vytváraniu stromovej štruktúry opačným spôsobom. Pri strome udalostí sa pozeráme od počiatočného bodu dopredu a zvažujeme možné budúce výstupy. Pri strome porúch začíname od výstupu a pozeráme sa späť na možné cesty, ktorými mohol nastať. Strom porúch je tak vhodný na zameranie pozornosti na nežiaduce situácie a hľadanie príčin prečo takéto situácie nastali, resp. by mohli nastať [7].

Medzi komplexnejšie formy kvantitatívnych modelov patria simulačné modely. Simulačné modely poskytujú priestor na realizáciu sofistikovanejších kvantitatívnych výpočtov v porovnaní s predchádzajúcimi dvoma typmi foriem modelov, pričom problematiku pravdepodobnostných scenárov pokrývajú najmä simulačné modely Monte Carlo a problematiku pravdepodobnostných postupností najmä modely založené na diskretnej udalostnej simulácii. Simulačný model Monte Carlo, na rozdiel od deterministického modelu, berie do úvahy úplné spektrum hodnôt, ktoré môže parameter modelu nadobúdať a prisudzuje každému možnému scenáru váhu vo forme pravdepodobnosti výskytu daného scenára. Toto je možné dosiahnuť prostredníctvom modelovania jednotlivých parametrov modelu pomocou pravdepodobnostných rozdelení. Modely založené na diskretnej udalostnej simulácii sa zameriavajú na modelovanie situácií, pri ktorých skúmame vývoj určitého stochastického systému v čase. Tento typ simulácie definuje pravdepodobnosti výskytu jednotlivých prvkov systému a spôsob akým sa jednotlivé prvky menia, pohybujú a navzájom reagujú a následne sa skúmajú jednotlivé stavy systému v rámci malých inkrementácií simulačného času.

## ZÁVER

V rámci predkladaného článku sú načrtnuté základné východiská kvantitatívnej analýzy rizík. Tieto základné východiská vytvárajú predpoklady na získanie objektívnych výsledkov, ktoré poskytujú podklady pre rozhodovanie o zaobchádzaní s rizikom.

## LITERATÚRA

1. Avent, T. (2003). Foundations of Risk Analysis. Chichester: John Wiley & Sons.
2. Aven, T. (2010). Misconceptions of Risk. Stavanger: University of Stavanger
3. Bedford, T., & Cooke, R. (2001). Probabilistic Risk Analysis: Foundations and Methods. Cambridge: Cambridge University Press.
4. Peterková, A. Titko, M., Hollá, K.(2013). Differences in risk assessment of particular areas of interest [Rozdiely v posudzovaní rizík jednotlivých záujmových sfér]
5. In: Recent advances in energy and environmental management : Rhodes Island, Greece, July 16-19, 2013 : proceedings. - [S.l.]: WSEAS Press, 2013. - ISBN 978-960-474-312-4. - S. 111-116.
6. Campbell, S. (2005). Determining overall risk. Journal of Risk Research, 569-581.
7. Hilgevoord, J., & Uffink, J. (2011). The Uncertainty Principle. The Stanford Encyclopedia of Philosophy. <http://plato.stanford.edu/archives/spr2011/entries/qt-uncertainty>.
8. Svetlík, J. (2007). Viackriteriálne hodnotenie variantov hasičskej techniky ako podpora rozhodovania pri obnove vozového parku. In: Ochrana území postihnutých prírodnými ničivými pohromami : medzinárodná konferencia : zborník príspevkov : [Štrbské Pleso, 2007]. - Zvolen: Technická univerzita, 2007. - ISBN 978-80-228-1803-2. - S. 59-66.