



ŠTATISTICKÉ METÓDY NA POSUDZOVANIE RIZÍK PRIEMYSELNÝCH PROCESOV

STATISTICAL METHODS USED FOR RISK ASSESSMENT OF INDUSTRIAL PROCESSES

Ladislav NOVÁK¹

SUMMARY:

The industrial processes risk assessment is based on use of diverse qualitative and quantitative methods. Within the quantitative methods especially statistical methods are able to be used for classification of statistical data, relative counts, probability, correlation and contingency so much important for investigation of mutual relations of the risk and consequences of industrial accidents. In application with other mathematic methods they allow to assess the risk based on the risks estimations and their impacts. The paper presents starting points for the above mentioned investigation.

KEYWORDS: risk, industrial accident, risk assessment, statistical methods

1. ÚVOD

Pri posudzovaní rizík priemyselných procesov môžeme identifikovať riziká vyplývajúce z pôsobenia ľudského činiteľa (obrázok 1.), riziká spojené s poruchami strojov, nástrojov, výrobných liniek alebo chybami materiálu. Zanedbať nemôžeme ani riziká vonkajšieho prostredia, ktoré môžu priemyselné procesy bezprostredne alebo druhotne ovplyvniť napr. pri prírodných katastrofách (obrázok 2.), teroristických činoch alebo pri neočakávaných výpadkoch dodávok energetických médií. Riziká priemyselných procesov nepôsobia izolovane. Môžeme očakávať, že pri aktivizácii rizík dôjde k reťazeniu príslušných havárií v podobe „domino efektu“ alebo súbežnému vzniku a pôsobeniu viacerých priemyselných havárií v jednom priemyselnom procese, podniku alebo odvetví s fatálnymi dopadmi na pracovníkov, priemyselnú produkciu, hospodárenie podniku a obyvateľstvo v okolí podniku (obrázok 3.).

Uvedené riziká môžeme znižovať prijímaním príslušných preventívnych opatrení. Následky priemyselných havárií môžeme znižovať prijímaním opatrení na účinnú reakciu na vzniknuté havárie. Stanoviť rozsah

a vyváženosť uvedených opatrení je problematické a priamo závislé na finančných možnostiach podnikov. V tejto situácii vystupuje do popredia stanovenie úrovne (hodnoty, stupňa, ...) riziká priemyselných havárií, ktoré môže významným spôsobom uľahčiť rozhodovanie manažmentu podnikov o rozsahu preventívnych opatrení na znižovanie rizík a pri príprave síl, zdrojov a prostriedkov na reakciu na očakávané priemyselné havárie.

V dnešnej dobe poznáme množstvo metód na posudzovanie rizika priemyselných procesov. Sú založené na matematických kvalitatívnych alebo kvantitatívnych metódach. Rozhodovanie o ich použití je priamo závislé na rozsahu historických dát, ktoré môžeme získať o relevantných haváriách a na znalostiach príslušných matematických metód pracovníkmi vykonávajúcimi posudzovanie rizík. V tejto situácii môže zohrať významnú rolu znalosť štatistiky, príslušných štatistických metód a umenie interpretácie dosiahnutých výsledkov. Základom na aplikáciu štatistických metód musí byť správne formulovaný štatistický projekt na posudzovanie rizík [3, 4].

¹ Ladislav Novák, doc., Ing., PhD., Katedra krízového manažmentu, Fakulta špeciálneho inžinierstva ŽU v Žiline, Ulica 1. mája 32, 010 26 Žilina, Slovakia. Tel: +421 41 5136704, mobil +421 907 265861, e-mail: Ladislav.Novak@fsi.uniza.sk.



Obrázok 1. Totálna devastácia VOP v Novákoch po aktivovanom vnútornom riziku, vyplývajúcom z ľudského činiteľa.

Zdroj: Peter Michnica



Obrázok 2. Zaplavený priemyselný podnik ako dôsledok aktivovaných vonkajších prírodných rizík

Zdroj: Vlastná snímka.



Obrázok 3. Havária v jadrovej elektrárni vo Fukušime ako dôsledok reťazenia viacerých aktivovaných vonkajších a vnútorných rizík

Zdroj: <http://clanky.b-3.sk/detail-clanku/vo-fukusime-zvysili-stupen-zavaznosti-na-najvyssi/>

2. POSUDZOVANIE RIZÍK PRIEMYSELNÝCH PROCESOV Z POHĽADU ŠTATISTIKY

Použitie štatistických metód pri posudzovaní rizík priemyselných procesov je závislé na viacerých skutočnostiach a obmedzujúcich podmienkach:

- riziko akého procesu, poruchy alebo havárie chceme vyjadriť,
- aké rizikové činitele príslušného priemyselného procesu alebo vonkajšieho prostredia budeme skúmať,
- voči akému subjektu alebo na akom území chceme riziko vyjadriť,
- k akému časovému obdobiu chceme riziko vyjadriť,
- koľko štatistických dát sme schopní získať,
- akým spôsobom alebo formou chceme riziko vyjadriť,
- aké máme k dispozícii štatistické metódy a príslušné SW prostredie ?

Pri skúmaní rizika si zväčša kladieme otázku typu: „Aké je riziko ?“, ktorá by mala jednoznačne zohľadňovať predchádzajúce skutočnosti a podmienky. Ak bude, ale otázka na riziko priemyselnej havárie napríklad znieť: „Aké je riziko priemyselnej havárie?“, ide z pohľadu štatistiky o tzv. nejednoznačnú otázku, ktorá neobsahuje typ havárie, neobsahuje časový údaj na ktorý chceme riziko vzťahovať a neobsahuje ani subjekt alebo územie ku ktorému chceme riziko vyjadriť. Vyplyývajú z toho nasledujúce závery:

- Otázku času a typu havárie sme schopní vyriešiť tak, že budeme uvažovať všetky známe historické havárie, ktoré sa doposiaľ vyskytli.
- Otázku subjektu alebo územia, na ktoré sa príslušné havárie vzťahujú obísť nedokážeme. Na príliš veľkom území a za príliš dlhé obdobie, by sa totiž musela pravdepodobnosť vzniku havárie zákonite blížiť k 1.
- Forma vyjadrenia rizika je závislá na požiadavke objednávateľa alebo na našom rozhodnutí, ale vždy tak, aby bola pre objednávateľa posudzovania rizika zrozumiteľná.

Použitie jednotlivých štatistických metód je závislé na predchádzajúcich uvedených skutočnostiach. Vychádza predovšetkým z rozsahu dát, ktoré sme schopní získať a z kombinácií rizikových činiteľov a dôsledkov príslušných havárií, ktorých vzájomné vzťahy chceme skúmať.

Jednotlivé havárie považujeme za štatistické jednotky u ktorých môžeme identifikovať štatistické znaky. Štatistickými znakmi môžu byť rizikové činitele, ktoré haváriu vyvolali a dôsledky, ktoré príslušná havária vyvolala. Z tohto pohľadu môžeme považovať za **základné štatistické metódy, vhodné na posudzovanie rizík** priemyselných procesov tieto metódy:

- **základný štatistický rozbor,**
- **jednoduché triedenie** štatistických dát jedného štatistického znaku (v prípade ak majú štatistické dáta slovné obmeny alebo malý počet číselných obmien), ktoré umožňuje vyjadriť frekvencie, podiely alebo pravdepodobnosti výskytu jednotlivých obmien znaku,
- **skupinové triedenie** štatistických dát jedného štatistického znaku (v prípade ak majú číselné štatistické dáta veľký počet obmien), ktoré umožňuje vyjadrovať rovnaké parametre, ale vyjadrené v tzv. spojitom prostredí pomocou tried, intervalov alebo skupín,
- **triedenie podľa štatistických dát viacerých štatistických znakov** v dvojrozmernom (x, y) alebo trojrozmernom (x, y, z) prostredí, ktoré umožňuje vyjadrovať frekvencie, podiely alebo pravdepodobnosti kombinácií obmien štatistických znakov,
- **predpovedanie** hodnôt jedného štatistického znaku s využitím relatívnej početnosti, teórie pravdepodobnosti a rozloženia náhodnej premennej,
- **odhady** hodnôt jedného štatistického znaku na základe expertných odhadov jeho hodnôt (minimum, medián/aritmetický priemer, maximum) a s využitím modifikovanej teórie σ ,
- **korelačnú úlohu**, pomocou ktorej skúmame závislosť dvoch číselných štatistických znakov,
- **regresnú úlohu**, pomocou ktorej hľadáme priebeh závislosti dvoch číselných štatistických znakov a predpovedáme hodnoty znaku závislého,
- **kontingenčnú úlohu**, pomocou ktorej skúmame závislosť dvoch slovných štatistických znakov,
- **časové rady**, kedy skúmame frekvencie, podiely alebo pravdepodobnosti obmien jedného štatistického znaku (na ose „y“) v závislosti na čase (na ose „x“),
- **simulácia (modelovanie)** vzniku a priebehu priemyselných havárií na základe teórie pravdepodobnosti a rozloženia pravdepodobnosti.

3. PRÍKLADY NA POUŽITIE ZÁKLADNÝCH ŠTATISTICKÝCH METÓD

ZÁKLADNÝ ŠTATISTICKÝ ROZBOR

Základný štatistický rozbor umožňuje skúmať u rizikových činiteľov charakteristiky úrovne a charakteristiky variability. Jednotlivé charakteristiky sú využiteľné u všetkých kvantitatívnych rizikových činiteľov. U kvalitatívnych (slovných) rizikových činiteľov sú charakteristiky využiteľné iba obmedzene.

Charakteristikami úrovne sú predovšetkým:

- hodnota (obmena) rizikového činiteľa, ktorá sa opakuje najčastejšie - **modus**,
- hodnoty, ktoré delia súbor dát na časti s rovnakým počtom hodnôt - **kvantily** (najznámejší je **medián** - 50% kvantil),
- rôzne druhy priemerov, najmä **aritmetický priemer**.

Charakteristikami variability rizikových činiteľov sú najmä:

- najmenšia hodnota, ktorá sa v súbore dát vyskytla – **minimum**,
- najväčšia hodnota, ktorá sa v súbore dát vyskytla – **maximum**,
- rozdiel medzi maximálnou a minimálnou hodnotou – **varičné rozpätie**,
- **rozptyl** dát od aritmetického priemeru,
- odchýlky dát od významných hodnôt – smerodajná odchýlka, odchýlka okolo aritmetického priemeru, odchýlka okolo mediánu a pod..

Hodnotiť rizikové činitele samostatne podľa charakteristik úrovne alebo charakteristik variability je nevhodné. Viedlo by k zásadnému skresleniu informácií i príslušnom rizikovom činiteľi.

TRIEDENIE ŠTATISTICKÝCH DÁT PODĽA JEDNÉHO RIZIKOVÉHO Činiteľa

Základnou metódou na stanovenie frekvencií, podielu alebo pravdepodobnosti výskytu hodnôt rizikového činiteľa priemyselných procesov je štatistické triedenie. Frekvenciou je absolútna početnosť, podielom alebo pravdepodobnosťou je relatívna početnosť s ktorou sa táto hodnota vyskytuje. Používame **jednoduché alebo intervalové (skupinové) triedenie**.

Spôsob triedenia je závislý na druhu rizikového činiteľa. Stanovujeme či sa jedná o znak kvantitatívny (číselný) alebo znak kvalitatívny (slovný alebo číselný vyjadrujúci kvalitu). Ak sa jedná o znak kvantitatívny, posudzujeme či ide o znak spojitý alebo nespojitý (diskrétny) a akého počtu obmien hodnoty štatistického znaku dosahujú. V niektorých špecifických prípadoch môžeme pracovať aj so znakmi alternatívnymi a množnými.

Jednoduché triedenie používame v prípade ak sa jedná o znaky kvalitatívne (slovné) alebo znaky kvantitatívne, ktoré dosahujú malého počtu obmien ich hodnôt. Príklad na jednoduché triedenie je uvedený v tabuľke 1. Ak sa jedná o znak kvantitatívny, ktorého hodnoty dosahujú väčšieho počtu obmien ako 15 používame **triedenie intervalové (skupinové)**. Príklad na intervalové triedenie je uvedený v tabuľke 2. Interpretácia výsledkov dosiahnutých v príslušnom triedení sa odvíja od rozloženia absolútnych a relatívnych početností vo väzbe na ich grafické znázornenie príslušným typom grafu (zväčša stĺpcový).

Tabuľka 1

Príklad na jednoduché triedenie kvalitatívneho znaku – porucha priemyselného procesu

Interval číslo	Závažnosť poruchy priemyselného procesu	Počet porúch priemyselného procesu	Podiel porúch podľa závažnosti [%]	Súčtový počet porúch priemyselného procesu	Súčtový podiel porúch podľa závažnosti [%]
1	Bezvýznamná	18	22,5	18	22,5
2	Ľahká	12	1,5	30	37,5
3	Stredná	12	1,5	42	52,5
4	Závažná	16	20,0	58	72,5
5	Ťažká	22	27,5	80	100,0
SUMA	X	80	100,0	X	X

Príklad na intervalové triedenie kvantitatívneho znaku – vek postihnutých zamestnancov

Interval číslo	Vekové intervaly postihnutých zamestnancov [rok]	Stred vekovej hranice postihnutých zamestnancov [rok]	Počet postihnutých zamestnancov	Pravdepodobnosť veku postihnutých zamestnancov	Súčtový počet postihnutých zamestnancov	Súčtová pravdepodobnosť veku postihnutých zamestnancov
1.	do 20)	17,5	6	0,15	6	0,15
2.	<20 až 25)	22,5	16	0,40	22	55,0
3.	<25 až 30)	27,5	10	0,25	32	80,0
4.	<30 až 35)	32,5	4	0,10	36	90,0
5.	<35 až 40)	37,5	3	0,08	39	98,0
6.	<40 a viac	42,5	1	0,02	40	1,00
SUMA	X	X	40	1,00	X	X

TRIEDENIE ŠTATISTICKÝCH DÁT PODĽA DVOCH RIZIKOVÝCH ČINITELŮV.

Skúmanie vzťahu dvoch rizikových činiteľov je založené na početnosti kombinácií všetkých hodnôt týchto činiteľov a výpočtu pravdepodobnosti výskytu týchto kombinácií. Rozoznávame nasledujúce typy triedenia dvoch štatistických znakov:

- **hierarchické triedenie** — spočíva v triedení vzájomne podriadených štatistických znakov, keď sú vo vnútri intervalov jedného znaku vytvárame intervaly ďalšieho (podriadeného) znaku. Typickým výsledkom triedenia je hierarchický strom — **dendrogram** (evolučný strom). Napríklad zamestnanci postihnutí priemyselnou haváriou triedení najskôr podľa veku, v jednotlivých vekových intervaloch podľa pracovného zaradenia a v rámci ich pracovného zaradenia podľa pohlavia.
- **kombinačné triedenie** — **triedenie podľa dvoch znakov, vzájomne**

nepodriadených. Typickým výsledkom tohto typu triedenia sú **kombinačné tabuľky**. Podľa druhu triedených štatistických znakov rozlišujeme tieto typy kombinačných tabuliek:

- korelačná tabuľka - triedenie podľa dvoch číselných znakov,
- kontingenčná tabuľka - triedenie podľa dvoch slovných znakov (1 znak môže byť aj číselný),
- asociačná tabuľka - triedenie podľa dvoch alternatívnych slovných znakov.

Výsledky dosiahnuté pri triedení dát umožňujú rozsiahlu interpretáciu z pohľadu jednotlivých štatistických znakov a sú základom na skúmanie ich závislostí. Absolútne a relatívne početnosti sú východiskom na grafické zobrazenie uvedených početností.

Príklad na triedenie podľa dvoch štatistických znakov (postihnutí zamestnanci triedení podľa veku a priemyselného odvetvia) je uvedený v tabuľke č. 3.

Príklad na triedenie podľa dvoch štatistických znakov (typ priemyselnej havárie a vek postihnutých zamestnancov)

Vekové hranice postihnutých zamestnancov [rok] (premenná x)	Počet postihnutých/pravdepodobnosť počtu postihnutých zamestnancov					Celkom
	Priemyselné odvetvie (premenná y)					
	strojárenstvo	energetika	chémia	doprava	informatika	
0 – 20	1 / 0,0125	4 / 0,050	3 / 0,0375	2 / 0,0250	0 / 0	10 / 0,125
21 – 25	2 / 0,0250	8 / 0,100	3 / 0,0375	5 / 0,0625	0 / 0	18 / 0,225
26 – 30	3 / 0,0375	2 / 0,0250	2 / 0,0250	4 / 0,050	1 / 0,0125	12 / 0,150
31 – 35	4 / 0,050	8 / 0,100	5 / 0,0625	3 / 0,0375	0 / 0	20 / 0,250
36 – 40	0 / 0	5 / 0,0625	1 / 0,0125	1 / 0,0125	0 / 0	7 / 0,0875
41 a viac	0 / 0	5 / 0,0625	0 / 0	8 / 0,100	0 / 0	13 / 0,1625
Celkom	10 / 0,125	32 / 0,375	14 / 0,175	23 / 0,2875	1 / 0,0125	80 / 1,000

3.3. PREDPOVEDANIE HODNÔT JEDNÉHO RIZIKOVÉHO ČINITEL'A

Jednou z úloh štatistiky pri posudzovaní rizik priemyselných procesov je **odhad (výpočet) hodnôt rizikového činiteľa**, ktoré sa nachádzajú:

- medzi hodnotami získanými štatistickým zisťovaním, alebo sa
- nachádzajú mimo variačné rozpätie štatistického súboru.

Tato úloha je typická v prípadoch kedy by skúmanie všetkých priemyselných havárií by bolo zdlhavé, neekonomické alebo fyzicky nemožné.

Najjednoduchšou možnosťou ako vyriešiť výše uvedený prípad by bolo vykonať **aproximáciu** pre najbližšie sa vyskytujúce hodnoty zľava a sprava. Lepšie riešenie tejto úlohy vychádza zo štatistickej definície pravdepodobnosti, ktorá považuje relatívnu početnosť za pravdepodobnosť výskytu príslušnej hodnoty štatistického znaku. Riešenie tejto úlohy bude spočívať v hľadaní takých funkcií, ktoré by dokázali s dostatočnou presnosťou popísať priebeh relatívnej početnosti hodnôt štatistického znaku.

Ide o **nájdenie rozdelenia pravdepodobnosti** náhodnej premennej (náhodnej veličiny), ktorou je výskyt (početnosť) hodnôt rizikového činiteľa. Náhodná veličina (náhodná premenná) je taká veličina, ktorá vplyvom náhodných okolností nadobúda vždy jednej z mnohých možných hodnôt. Pravdepodobnostné chovanie náhodných veličín ide popísať mnohými spôsobmi. Najobvyklejšími sú:

- popis **frekvenčnou funkciou alebo tzv. funkciou hustoty pravdepodobnosti**, ktorej tvar podáva obraz o dôležitých vlastnostiach rozdelenia,
- popis **distribučnou funkciou**.

Oba spôsoby popisujú - charakterizujú rozdelenie náhodných veličín úplne, ak majú dve veličiny rovnaké distribučné funkcie, majú i rovnaké rozdelenia a naopak.

Medzi typické rozdelenia pravdepodobnosti využiteľné pri štatistickom skúmaní **diskrétnych** (nespojité) **rizikových činiteľov** patria rozdelenia binomické, Poissonovo a hypergeometrické.

Medzi typické rozdelenia pravdepodobnosti využiteľné pri štatistickom skúmaní **spojitých rizikových činiteľov** patria rozdelenia normálne (Gaussovo), exponenciálne a Erlangovo.

ODHADY HODNÔT JEDNÉHO RIZIKOVÉHO ČINITEL'A

Odhady hodnôt krízového činiteľa je možné vykonávať v prípade **kvantitatívnych (číselných) rizikových činiteľov**. Typickými údajmi sú napr. časové údaje, údaje vyjadrujúce intenzitu havárie a údaje vyjadrujúce dôsledky krízového javu, napr. materiálne straty alebo straty na životoch. V týchto prípadoch môžeme odhadnúť:

- očakávanú minimálnu hodnotu x_{min} rizikového činiteľa,
- očakávanú maximálnu hodnotu x_{max} rizikového činiteľa,
- očakávanú strednú hodnotu (aritmetický priemer) x_p , prípadne modus alebo medián krízového činiteľa.

Z týchto vstupných údajov môžeme vypočítať parametre rozdelenia náhodnej premennej, pričom vychádzame z teórie 6σ (obrázok 4), ktorá udáva, že medzi minimálnou a maximálnou hodnotou sa nachádza určitý počet všetkých hodnôt náhodnej premennej normálne rozloženej. Teória garantuje, že 99,73% všetkých hodnôt sa bude nachádzať práve v rozpätí $\pm 3\sigma$ (σ - smerodajná odchýlka) od strednej hodnoty.

Na vyjadrenie používame zväčša **Gauss-Laplace'ove rozdelenie alebo rozdelenie Erlangovo**. Gauss-Laplace'ove rozdelenie sa používa v prípade ak sa stredná hodnota x_p nachádza presne v strede (v polohe mediánu) medzi minimálnou a maximálnou hodnotou.

Použiteľnosť tohto rozdelenia je, ale obmedzená v prípade, že stredná hodnota neleží presne v polohe mediánu. Táto skutočnosť viedla riešiteľov grantových úloh na našej fakulte k otázke, či je možné uvedenú teóriu využiť aj na iný typ rozdelenia náhodnej premennej, pričom pozornosť sústredili najmä na rozdelenie Erlangovo, ktoré patrí medzi rozdelenia najpružnejšie. Na základe počítačového experimentu [6] dokázali, že túto teóriu je možné aplikovať na **rozdelenie Erlangove** a tým **podstatne rozšíriť možnosti odhadov hodnôt príslušného rizikového činiteľa**.

Vzhľadom na nesúmernosť (ale tým pádom pružnosť) tohto rozdelenia (obr. 5) bol použitý vzťah $x_{max} - x_{min} = 6\sigma$ odkiaľ sa vyjadří smerodajná odchýlka a rozptyl s^2 ako druhá mocnina smerodajnej odchýlky. Pre volené stredné hodnoty x_p boli počítané parametre a, b náhodnej premennej s Erlangovým rozdelením a generované nové

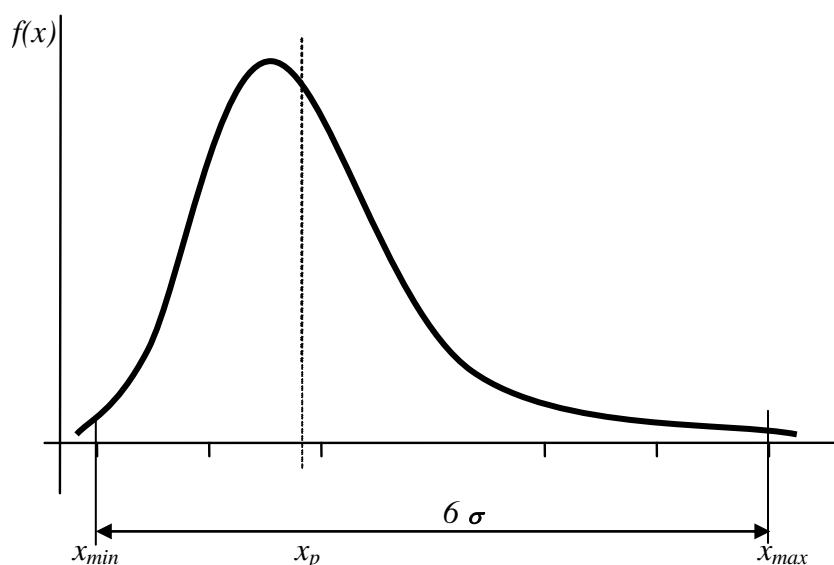
štatistické súbory takto rozloženej náhodnej premennej.

$$b = \frac{x_p}{\sigma^2}, \quad a = x_p b$$

Z generovaných hodnôt boli štatisticky vyhodnotené príslušné hodnoty strednej hodnoty x_p , rozptylu s^2 a smerodajnej odchýlky σ . Porovnaním týchto hodnôt s pôvodnými bola potvrdená platnosť pravidla o 6σ aj pre náhodnú premennú s Erlangovým rozdelením s koeficientom korelácie 0,97.

Uvedené závery otvorili možnosti predpovedania intervalov rizikových činiteľov, ktorých stredná hodnota neleží presne v strede medzi minimálnou a maximálnou hodnotou.

Praktická aplikácia tejto teórie spočíva najmä v tom, že na základe frekvenčnej funkcie sme schopní pre odhadnuté hodnoty minima, maxima a aritmetického priemeru vypočítať pravdepodobnosť ich výskytu, prípadne ich využiť pri simulácii hodnôt rizikového činiteľa príslušnej havárie, vznik havárie alebo jej následkov.



Obrázok 4. Grafické vyjadrenie teórie 6σ v Erlangovom rozdelení náhodnej premennej

SKÚMANIE ZÁVISLOSTI DVOCH RIZIKOVÝCH ČINITEĽOV

Základom na skúmanie závislostí dvoch rizikových činiteľov, prípadne následkov príslušnej priemyselnej havárie je kombinačné triedenie. Podľa druhu rizikových činiteľov (štatistických znakov), môžeme závislosti členiť nasledovne:

- **korelačná závislosť** – závislosť medzi kvantitatívnymi rizikovými činiteľmi,
- **asociačná závislosť** – závislosť medzi kvalitatívnymi alternatívnymi rizikovými činiteľmi,
- **kontingenčná závislosť** – závislosť medzi kvalitatívnymi rizikovými činiteľmi množnými.

Všetky závislosti rizikových činiteľov priemyselných procesov môžeme rozdeliť na **závislosti príčinné a závislosti zdanlivé**. Význam skúmať majú iba závislosti príčinné, kde vystupuje jeden rizikový činiteľ ako

nezávislá premenná (X) a druhý činiteľ ako závislá premenná (Y). Príčinné závislosti číselných znakov klasifikujeme z rôznych hľadísk:

- na závislosti jednostranné a závislosti obojstranné (vždy však vzájomné),
- na závislosti priamočiare (lineárne) a krivočiare (nelineárne),
- na závislosti pozitívne a závislosti negatívne.

KORELAČNÁ ZÁVISLOSŤ RIZIKOVÝCH ČINITEĽOV

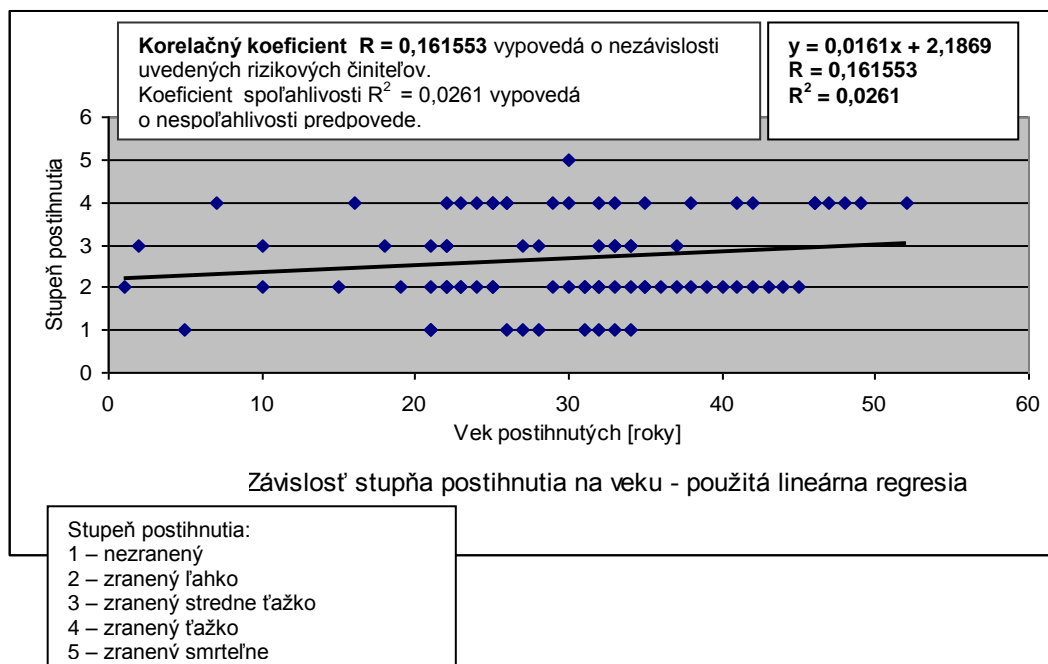
Na skúmanie závislosti kvantitatívnych rizikových činiteľov používame koreláciu a regresiu. **Korelácia** popisuje stupeň závislosti a **regresia** priebeh závislosti prostredníctvom matematickej funkcie vyjadrujúcej vzájomný vzťah závislého a nezávislého rizikového činiteľa. Miera korelácie sa vyjadruje korelačným koeficientom r , ktorého hodnota sa nachádza v intervale

$[-1, 1]$. Čím viac sa hodnota korelačného koeficientu blíži $|1|$ tým je závislosť silnejšia. Ak sú hodnoty obidvoch rizikových nezávislé, je korelačný koeficient rovný 0 .

Základom skúmania je korelačná tabuľka, vyjadrujúca početnosť všetkých kombinácií hodnôt rizikových činiteľov. Príklad je uvedený v tabuľke 3. Na vyjadrenie závislosti používame korelačný graf, korelačný koeficient, prípadne vyrovnanie údajov

matematickou funkciou (lineárna, exponenciálna, mocninová, polynomičná, ad.).

Príklad na korelačný graf a korelačný koeficient je uvedený na obrázku 5. V príklade je použitý slovný (kvantitatívny) znak „stupeň postihnutia“, ktorého obmeny je možno stupňovať a nahradiť hodnotou číselnou. Vzhľadom na hodnotu korelačného koeficientu $R = 0,161553$ sa nepreukázala závislosť stupňa postihnutia zamestnancov na veku.



Obrázok 5. Závislosť stupňa postihnutia zamestnancov na ich veku - použitá lineárna regresia

ASOCIAČNÁ ZÁVISLOSŤ

V prípade, že hodnoty obidvoch rizikových činiteľov dosahujú iba dvoch obmien, napr. áno/nie, hovoríme o tzv. **asociačnej závislosti**. Jedná sa zväčša o rizikové činitele kvalitatívneho charakteru. Príklad na skúmanie asociačnej závislosti je uvedený v tabuľke 4.

Pri skúmaní asociačnej závislosti dvoch odhadovaných hodnôt krízových činiteľov nemá praktický význam grafické vyjadrenie. Miera závislosti sa vyjadruje asociačným koeficientom Q_{ab} a tzv. upraveným korelačným koeficientom R_{ab} . Hodnoty a interpretácia koeficientov je rovnaká ako u korelačnej závislosti.

Tabuľka 4

Asociačná tabuľka dvoch kvalitatívnych rizikových činiteľov

Početnosť kombinácií hodnôt krízových činiteľov „ $n_{A,B}$ “			
Revízia stroja (rizikový činiteľ A)	Porucha stroja (rizikový činiteľ B)		Početnosť strojov podľa revízie
	áno (b)	nie (β)	
áno (a)	10	350	360
nie (α)	60	60	120
Početnosť strojov podľa poruchy	70	410	480

KONTINGENČNÁ ZÁVISLOSŤ RIZIKOVÝCH ČINITEĽOV

V prípade dvoch **kvalitatívnych** rizikových činiteľov, ktoré nadobúdajú viac ako dvoch obmien, môžeme hľadať ich kontingenčnú závislosť. Ide o také rizikové činitele, ktorých hodnoty sa dajú vyjadriť iba slovné. Sú to napríklad slovné vyjadrenie intenzity školenia zamestnancov a stupňa ich postihnutia pri

priemyselných haváriách, alebo slovné expertné ohodnotenie dopadov havárie. Typickými sú napríklad dotazníkové prieskumy pripravenosti zamestnancov na rôzne riziká, havárie a ich dôsledky. Kontingenciu používame i v prípade, že jeden z rizikových činiteľov je číselný. Príklad na skúmanie kontingenčnej závislosti je uvedený v tabuľke 5.

Tabuľka 5

Kontingenčná tabuľka dvoch kvalitatívnych rizikových činiteľov

Početnosť kombinácií hodnôt rizikových činiteľov „n _{A,B} “						
Intenzita školenia zamestnancov v PZPH (rizikový činiteľ A)	Počet zamestnancov					Početnosť zamestnancov podľa intenzity školení
	Stupeň postihnutia zamestnancov pri havárii (rizikový činiteľ B)					
	1	2	3	4	5	
často	120	50	40	15	5	230
občas	20	30	40	8	2	100
nikdy	20	30	40	95	5	190
Početnosť zamestnancov podľa postihnutia pri havárii	160	10	120	118	17	520

Na hodnotenie kontingenčnej závislosti kvalitatívnych krízových činiteľov slúžia predovšetkým štvorcová kontingencia χ^2 , Pearsonov kontingenčný koeficient **C** a Čuprovov koeficient kontingencie **K**. Koeficient nadobúda hodnotu **0** pri nezávislosti obidvoch znakov. Pri úplnej závislosti obidvoch znakov sa blíži k **1**. Hodnotu **1** môže koeficient dosiahnuť pri úplnej závislosti obidvoch znakov. Ostatné hodnoty medzi týmito dvoma extrémami udávajú rôznu stupeň kontingencie.

ČASOVÉ RADY V SKÚMANÍ PRIEMYSELNÝCH PROCESOV

Špecifika štatistických skúmaní v časových radoch spočíva v skutočnosti, že jedným zo štatistických znakov je vždy čas. V prípade posudzovania rizík priemyselných havárií to bude napríklad okamih vzniku havárie, rok, mesiac alebo ročné obdobie havárie, doba jej trvania a pod.

Pri skúmaní príslušného rizikového činiteľa riešime predovšetkým nasledujúce úlohy:

- **sledovanie a vyhodnocovanie zmien** ku ktorým dochádza vo vývoji skúmaného rizikového činiteľa **v závislosti na čase**,
- **analýza zložiek**, ktoré skúmaný rizikový činiteľ ovplyvňujú (trend, sezónna zložka, cyklická zložka, náhodná zložka),
- **predpovedanie očakávaných hodnôt** rizikového činiteľa.

Pri riešení jednotlivých úloh používame rovnaké metódy ako boli uvedené v predchádzajúcich kapitolách.

SIMULÁCIA VZNIKU A PRIEBEHU HAVÁRIÍ PRIEMYSELNÝCH PROCESOV

Simulácia vzniku a priebehu havárií priemyselných procesov je založená na počítačovom generovaní obmien rizikových činiteľov a dôsledkov príslušných havárií podľa rozloženia náhodnej premennej, ktorou je možné uvedené činitele a dôsledky matematicky popísať.

Základom pre simuláciu musí byť získanie rozsiahleho počtu reprezentatívnych štatistických údajov, ktoré umožňujú s využitím relatívnej početnosti obmien štatistického znaku hľadať najspoľahlivejšiu náhodnú premennú, ktorej rozloženie pri simulácii používame.

Problematika simulácie a modelovania podobných procesov je samostatnou matematickou disciplínou a nie je predmetom tohto článku.

ZÁVER

Štatistické metódy a možnosti ich využitia pri posudzovaní rizík priemyselných procesov otvárajú široké možnosti ich skúmania. Poskytujú odlišný pohľad na riziká, rizikové

činiteľa a dôsledky príslušných havárií ako metódy kvalitatívne. Odlišný je i pojmový aparát, ktorý pracuje s frekvenciami a pravdepodobnosťami výskytu hodnôt (obmien) jednotlivých rizikových činiteľov a dôsledkov aktivovaných mimoriadnych udalostí alebo krízových javov v priemyselných procesoch.

V prípade, že nemáme štatistických dát dostatok, umožňujú nám štatistické metódy v kombinácii s inými matematickými teóriami a metódami (napr. THO alebo 6σ) použiť aj odhadnuté parametre rizikových činiteľov

a dôsledkov reprezentatívnou skupinou odborníkov.

Uvedené štatistické metódy a príklady iba naznačujú možnosti a smery ich použitia pri posudzovaní rizík priemyselných procesov. Otvorené sú predovšetkým skúmania vzájomných vzťahov ako rizikových činiteľov, tak ich dôsledkov vo vzájomných kombináciách. Významné informácie a závery bude možné získať pri hľadaní závislostí rizikových činiteľov napr. v trojrozmernom prostredí a pri simulácii vzniku havárií a ich dôsledkov.

*Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja
na základe zmluvy č. APVV-0043-10
na riešenie projektu*

Komplexný model posudzovania rizík priemyselných procesov

LITERATURA

- [1] MILATA, I.: *Teórie hromadnej obsluhy*. VF VŠDS, Žilina 1991.
- [2] MILATA, I., NOVÁK, L., ROŠTEKOVÁ, L.: *Využití retrospektivy v krízovém plánování*. In: Sborník z XV. ročníku mezinárodní konference Požární ochrana 2006, Ostrava VŠ-TU, 13-14. září 2006. ISBN 80-86634-88-4.
- [3] NOVÁK, L.: *Východiská na kvantifikáciu rizík priemyselných procesov*. In: Zborník (CD) z medzinárodnej vedecko-odbornej konferencie „Manažment, teória, výučba a prax 2011. AOS MRŠ Liptovský Mikuláš 2011. str. 265 – 270. ISBN 978-80-8040-404-8.
- [4] NOVÁK, L.: *Štatistický projekt v analýze rizík*. In: Zborník z medzinárodnej vedeckej konferencie "International Conference of Crisis management in Public and Private Sector" (CD). ČR, Uherské Hradiště, FLKR UTB Zlín 2011. str. 43 + text na CD. ISBN 978-80-7454-027-1.
- [5] NOVÁK, L., MILATA, I.: *Application of „3 sigma theory“ to Erlangs distribution of random variable*. In: Zborník z X. International Scientific Conference TEMPT'97. Bulharsko, Sofia, Higher Military School of Transport 1996, s. 137 – 142. (90 %). ISBN 954-12-0049-4.
- [6] NOVÁK, L.: *Prednášky z predmetu manažérska štatistika*. <http://fsi.uniza.sk/kkm/stranka/zamestnanci/ladislav-novak>.
- [7] SEIDL, M., ŠIMÁK, L., ZAMIAR, Z., 2009: *Aktualne zagadnienia zarządzenia kryzysowego (monografia)*. WROCLAW, MWSLIT, Consulting i logistika Spółka z o.o., 197 s., ISBN 978-83-89908-95-7
- [8] VORLÍČEK, M.: *Vybrané kapitoly matematické štatistiky*. FMNO, Praha 1968.
- [9] ZÁNICKÁ HOLLÁ, K., RISTVEJ, J., ŠIMÁK, L.: *Posudzovanie rizík priemyselných procesov*. Bratislava: Iura Edition, spol. s r. o., 2010. 155 s. ISBN 978-80-8078-344-0.