

Hodnocení přesnosti výsledků z metody FMECA

Josef Chudoba

1. Úvod

Metoda FMECA je semikvantitativní metoda, pomocí které se identifikují poruchy s významnými důsledky ovlivňující funkci systému. Závažnost následků poruchy se popisuje kritičností. Existuje několik tříd nebo úrovní kritičnosti v závislosti na nebezpečích a snížení provozuschopnosti systému a někdy též na pravdě-podobnosti výskytu.

Při zadávání kritičnosti se dopouštíme dvou základních chyb. První je, že se špatně odhadne hodnota kritičnosti. Tato chyba vznikne, jestliže jednotlivých úrovní kritičnosti je velké množství. Druhá chyba vzniká velkou zaokrouhlovací chybou vstupů a tím zároveň výstupů. Této chyby se autor dopustí, jestliže jednotlivých úrovní kritičnosti je málo. Omezením velikosti jedné chyby roste vliv druhé.

Cílem této práce je popsat způsob zjištění velikosti druhé chyby. Předpokládá se, že autor neudělá chybu při zadávání vstupních dat.

K určení celkového výsledku rizikovosti se využívá jednoduchých matematických vzorců. Například sčítání nebo násobení jednotlivých rizikovostí. Další variantou je určení speciálního vzorce podle fyzikálně/ekonomicko/-bezpečnostní podstaty úlohy. Tento příspěvek se bude zabývat určením přesnosti pomocí poslední, třetí varianty.

Byla řešena testovací úloha, která se zabývala finančním zjištěním škody, při uzavření dopravního úseku z nějaké příčiny. Finanční škody jsou dány několika faktory, například: hustotou dopravy, frekvencí událostí, finanční škodou, délkou objížďky a zdravotní újmou. Každý tento faktor je bodově ohodnocen a podle daného vzorce je přiřazena výsledná diskrétní bodová hodnota.

2. Hodnocené faktory

Ke každému objektu a hodnocené události, jejíž výskyt je na objektu reálně možný, se zvažují následující faktory:

1. Intenzita výskytu události [h^{-1}]
2. Náklady na obnovu [Kč]
3. Vícenáklady na objížděku [Kč/h]
4. Hustota dopravy [1]
5. MTTR - doba do obnovy [h]
6. Vliv na bezpečnost / životy [Kč]

Ke každému z výše uvedených faktorů byla vytvořena bodová stupnice v rozsahu 1 až 5. Rozdělení do pětistupňové škály ne-vyžaduje přehnané nároky na hodnotitele a navíc poskytuje dostatečnou přesnost výsledků prováděných analýz.

2.1 Intenzita výskytu události

Vytvořená stupnice je přibližně logaritmická s přihlédnutím na běžně používané časové jednotky.

X1	Intenzita výskytu události
1	1x za 100 let
2	1x za 10 let
3	1x za rok
4	1x za měsíc
5	1x za týden a častěji

2.2 Náklady na obnovu

Náklady na obnovu jsou tzv. jednorázové náklady - tyto náklady nejsou závislé na času, po který bude obnova probíhat.

X2	Náklady na obnovu
1	do 10 000 Kč
2	do 100 000 Kč
3	do 1 000 000 Kč
4	do 10 000 000 Kč
5	nad 10 000 000 Kč

2.3 Vícenáklady na objížděku

Vícenáklady na objížděku jsou reprezentovány rozdílem délek tras (původní trasa a objížděka) v kilometrech. Spodní hranice (do 10km) se bude vztahovat především na silnice nižších tříd, kde je silniční síť hustší, naopak nejvyšší hodnota (nad 100km) bude ve většině případů reprezentovat objížděku po železniční síti.

X3	Vícenáklady na objížděku
1	do 10km
2	do 20km
3	do 50km
4	do 100km
5	nad 100km

2.4 Hustota dopravy

Hodnotící stupnice hustoty dopravy byla vytvořena na základě údajů ze statistických ročenek Ministerstva dopravy ČR.

X4	Hustota dopravy
1	do 5 ks/h
2	5 až 50 ks/h
3	30 až 150 ks/h
4	I.třída (100 až 2 000 ks/h)
5	dálnice (1 000 až 5 000 ks/h)

2.5 MTTR - doba do obnovy

Doba do obnovy je čas od vzniku nežádoucí události až po plné zprovoznění hodnoceného objektu.

X5	MTTR - doba do obnovy
1	8 hodin
2	den
3	týden
4	měsíc
5	rok

2.6 Vliv na bezpečnost / životy

Vliv na bezpečnost, případně životy lidí, se hodnotí pro fázi vzniku nežádoucí události. Zdravotní následky způsobené během obnovy/opravy v analýze zanedbáváme

X6	Vliv na bezpečnost / životy
1	poškození zdraví bez trvalého následku
2	poškození zdraví s trvalými následky
3	úmrť jedné osoby
4	úmrť 2-10 osob
5	úmrť 11-100 osob

3. Transformace semikvantitativního hodnocení na kvantitativní výpočet

Sestavení modelu, který by počítal pouze s bodovým ohodnocením jednotlivých faktorů, by bylo velmi složité. Bylo by nutné správně zvolit váhové faktory a dále také uvažovat, zda je stupnice zvolena lineárně, logaritmičtě atd. Jednodušší a přesnější variantou je převod na čistě kvantitativní hodnocení. Uvažované faktory tedy vyjádříme v jednotkách dle následující tabulky.

F1 Intenzita výskytu události	1/h
F2 Náklady na obnovu	Kč
F3 Vícenáklady na objížďku	Kč/ks
F4 Hustota dopravy	ks/h
F5 MTTR - doba do obnovy	h
F6 Vliv na bezpečnost / životy	Kč

3.1 Intenzita výskytu události

X1	Pravděpodobnost nastoupení jevu	1/h
1	1x za 100 let	1,0E-06
2	1x za 10 let	1,0E-05
3	1x za rok	1,0E-04
4	1x za měsíc	1,0E-03
5	1x za týden a častěji	1,0E-02

3.2 Náklady na obnovu

X2	Náklady na obnovu	Kč
1	do 10 000 Kč	5,00E+03
2	do 100 000 Kč	5,00E+04
3	do 1 000 000 Kč	5,00E+05
4	do 10 000 000 Kč	5,00E+06
5	nad 10 000 000 Kč	5,00E+07

3.3 Vícenáklady na objížďku

X3	Vícenáklady na objížďku	Kč
1	do 10km	45
2	do 20km	135
3	do 50km	315
4	do 100km	675
5	nad 100km	1350

3.4 Hustota dopravy

X4	Hustota dopravy	ks/h
1	do 5 ks/h	3
2	5 až 50 ks/h	30
3	30 až 150 ks/h	100
4	I.třída (100 až 2 000 ks/h)	1000
5	dálnice (1 000 až 5 000 ks/h)	2500

3.5 MTTR – doba do obnovy

X5	MTTR – doba do obnovy	h
1	8 hodin	6
2	den	24
3	týden	100
4	měsíc	1000
5	rok	10000

3.6 Vliv na bezpečnost / životy

X6	Vliv na bezpečnost / životy	Kč
1	poškození zdraví bez trvalého následku	2,0E+04
2	poškození zdraví s trvalými následky	2,0E+05
3	úmrťí jedné osoby	2,0E+06
4	úmrťí 2-10 osob	2,0E+07
5	úmrťí 11-100 osob	2,0E+08

4. Model výpočtu rizika

V případě, že se úspěšně provedl převod na bodové hodnoty viz. kap.3, je již snadné získat rizikové číslo hodnocené nežádoucí události.

Součinem jednotkových vícenákladů na objížděku (F3) a hustotou dopravy (F4) získáme hodinové ztráty z objížděky. Po vynásobení dobou do obnovy (F5) již máme celkové náklady z objížděky v Kč.

$$F3 * F4 * F5$$

Jednorázové náklady na obnovu (F2) a vliv na bezpečnost/životy (F6) jsou již v Kč, je tedy možné je pouze přičíst.

$$F2 + F3 * F4 * F5 + F6$$

V této chvíli jsou již známy finančně ohodnocené důsledky z analyzované události. Tyto důsledky se násobí intenzitou výskytu události, čímž se získá rizikové číslo v Kč/h.

$$R = F1 * (F2 + F3 * F4 * F5 + F6)$$

Jak bylo již zmíněno, ke každému objektu lze analyzovat více nežádoucích událostí. V tomto případě je pak výsledné rizikové číslo objektu dáno součtem všech dílčích rizikových čísel analyzovaných událostí na příslušném objektu:

$$R_v = \sum R_i$$

5. Zpětný přepočítání výsledného rizika do bodové stupnice

R [Kč/h]	R [bod]	R [Kč/h]	R [bod]
0,025 až 0,1	1	25 až 100	6
0,1 až 0,4	2	100 až 400	7
0,4 až 1,6	3	400 až 1 600	8
1,6 až 6,4	4	1 600 až 6 400	9
6,4 až 25	5	více než 6 400	10

6. Metodika zjišťování chyby

Základem metodiky je namodelování mnoha fiktivních scénářů (pro matlabovskou simulaci jich bylo použito 10 000 000), kde se předpokládá znalost skutečné finanční, hodinové, frekvenční hodnoty události. Na základě těchto přesných vstupů se vypočte výsledná škoda dopravní infrastruktury v korunách za hodinu. Při znalosti škody dopravní infrastruktury v korunách za hodinu se přiřadí události výsledná bodová hodnota dle tabulky 3. Pomocí tohoto postupu se zjistí přesná hodnota rizika kritičnosti dopravní infrastruktury.

Dle tabulky 4.1 až 4.6 v [1] se pro každý scénář finančním, hodinovým, frekvenčním vstupním hodnotám přiřadí bodové ohodnocení. Na základě tohoto bodového ohodnocení se vybere hodnota, která reprezentuje celý interval. Pomocí této hodnoty se získá odhad celkové škody dopravní infrastruktury v korunách za hodinu. Následně ze znalosti celkové škody dopravní infrastruktury se přiřadí odhadovaná bodová hodnota rizika kritičnosti dopravní infrastruktury - tabulka 3.

Pro každý scénář se vytvoří rozdíl v absolutní hodnotě přesné hodnoty rizika a odhadované bodové hodnoty rizika. Pro všechny scénáře se vytvoří součet vzniklých rozdílů a zjistí se střední hodnota odchylky odhadované a přesné kritičnosti dopravní infrastruktury.

6.1 Určení skutečných vstupních dat

Odhad hodnot pro každý fiktivní scénář byl řešen na základě náhodných čísel rovnoměrného rozdělení v rozmezí $\langle 0,1 \rangle$ a příslušné transformace, která upraví náhodné číslo do reálné hodnoty daného faktoru. Protože všechny faktory mají exponenciální stupnici v rámci jednoho bodu, byla navržena exponenciální transformace. Náklady na údržbu jsou v rámci jednoho bodu v rozmezí 10^3 až 10^4 , 10^4 až 10^5 , 10^5 až 10^6 , 10^6 až 10^7 , 10^7 až 10^8 Kč. Příslušná transformace z náhodného čísla má následující vzorec:

$$F_x = 10^{(k_1 * \text{nahcislo}) + k_2}$$

$$k_1 = \log\left(\frac{\text{nejvyšší}}{\text{nejnižší}}\right)$$

$$k_2 = \log \text{nejnižší}$$

kde nejvyšší/nejnižší označuje maximální/minimální hodnotu, kterou lze zadat pro daný parametr. Výhoda této transformace je, že hodnoty jsou náhodné a zároveň respektují exponenciální tvar stupnice. Každý interval je zastoupen přibližně stejným množstvím hodnot. Parametry k_1 a k_2 jsou uvedeny v následující tabulce:

F_x	k_1	k_2		F_x	k_1	k_2
1	4	-6		4	3	0,47
2	4	-3,7		5	3,4	0,6
3	1,5	1,65		6	4	4,3

Příklad: Na základě náhodných čísel z rovnoměrného rozdělení se určí hodnoty parametrů F_x . Náhodná čísla jsou například 0.8451, 0.3443, 0.5356, 0.1077, 0.3307, 0.1389. Těmto náhodným číslům odpovídají následující hodnoty:

$F_1 = 0,002401 \text{ 1/h}$	$F_2 = 119500 \text{ Kč}$	$F_3 = 284,1 \text{ Kč}$
$F_4 = 6,210 \text{ ks/h}$	$F_5 = 53,05 \text{ h}$	$F_6 = 71710 \text{ Kč}$

Nevýhodou těchto dat je, že se předpokládá nezávislost jednotlivých parametrů F_1 až F_6 . Tento předpoklad plně nevystihuje reálnou situaci. Systém popisuje všechny scénáře jako stejně pravděpodobné, což není ve skutečnosti pravda.

6.2 Výpočet skutečné kritičnosti dopravní infrastruktury

Výsledná skutečná kritičnost se vypočítá podle vzorce (2), který je již uveden ve zprávě Hodnocení kritičnosti dopravní infrastruktury [1].

$$R = F_1 * (F_2 + F_3 * F_4 * F_5 + F_6)$$

Pomocí vzorce (2) se vypočítají celkové škody za hodinu a na základě velikosti této škody je přidělena kritičnost scénáře. Kritičnost scénáře je označena 1 až 10. V kapitole 3.1 bylo uvedeno, že v simulacích vznikají i scénáře, které jsou silně nepravděpodobné. Skutečná kritičnost některých scénářů je výrazně vyšší než bodové označení 10, proto byla bodová škála rozšířena na 13 stupňů. Jednotlivé bodové hodnoty kritičnosti jsou uvedeny v tabulce 3.

	Škody min	Škody max		Škody min	Škody max
R=1	0	0,025 Kč	R=2	0,025 Kč	0,10 Kč
R=3	0,10 Kč	0,40 Kč	R=4	0,40 Kč	1,60 Kč
R=5	1,60 Kč	6,40 Kč	R=6	6,40 Kč	25 Kč
R=7	25 Kč	100 Kč	R=8	100 Kč	400 Kč
R=9	400 Kč	1600 Kč	R=10	1600 Kč	6400 Kč
R=11	6400 Kč	25 000 Kč	R=12	25 000 Kč	100 000 Kč
R=13	100 000 Kč	400 000 Kč			

Tab 3.: Kritičnost scénářů při známých škodách za hodinu

Z dat v odstavci 3.1 a na základě vzorce (2) se zjistila celková hodnota škody dopravní infrastruktury za hodinu. Tato škoda je 638,80 Kč za hodinu. Tato částka odpovídá bodové hodnotě 9 kritičnosti dopravní infrastruktury.

6.3 Výpočet odhadované kritičnosti dopravní infrastruktury

Z náhodných čísel se po transformaci zjistily hodnoty parametrů F_1 až F_6 . Podle [1] lze každou hodnotu zařadit do bodové stupnice 1 až 5 každého parametru. Každý tento parametr má stanovenou střední hodnotu. S pomocí této střední hodnoty a vzorce (2) se vypočítá odhadovaná škoda dopravní infrastruktury. Odhadované škody dopravní infrastruktury lze

zařadit do tabulky kritičností dopravní infrastruktury.

Na základě vstupních dat příkladu je celková odhadovaná škoda:

$$R = F_1 \cdot (F_2 + F_3 \cdot F_4 \cdot F_5 + F_6) = 0,001 \cdot (500\,000 + 315 \cdot 30 \cdot 100 + 200\,000) = 1645 \text{ Kč/hod.}$$

Podle výsledku je kritičnost dopravní infrastruktury ohodnocena 10 body.

6.4 Určení výsledků přesnosti kritičnosti

Pro každý scénář byl vypočten v absolutní hodnotě rozdíl odhadované a skutečné kritičnosti. Sečtením těchto rozdílů přes všechny scénáře byla zjištěna střední hodnota rozdílů odhadované a skutečné kritičnosti. Střední hodnota rozdílu byla na základě 10^7 simulací odhadnuta na 0,6335.

7. Závěr

Bylo zjištěno, že skutečná a odhadovaná kritičnost se liší od sebe po vytvoření 10^7 simulací v průměru o 0,6335 bodu. Z tohoto důvodu lze přijmout závěr, že semikvantitativní analýza je dostatečně přesná a lze ji použít v praxi.

V analýze se neuvažoval případ, že odborník zapíše omylem hodnotu špatně nebo se neumí rozhodnout mezi dvěma bodovými hodnotami. Tento fakt může zhoršit výsledek analýzy.

Literatura

[1] Zajíček J.: *Hodnocení kritičnosti dopravní infrastruktury*, TUL, 2006

Adresa autora:

Ing. Josef Chudoba, Technická univerzita v Liberci, Fakulta mechatroniky a mezipodoborových inženýrských studií, Katedra modelování procesů, Hájkova 6, 461 17 Liberec 1

e-mail: Josef.chudoba@tul.cz

Tato práce byla vytvořena za podpory projektu MŠMT 1M06047 - CQR