

- 28) „Markovovy modely“: klasická technika modelování používaná při posuzování chování dynamických systémů v čase;
- 29) „DYLAM“ (angl. *Dynamic Event Logic Analytical Methodology*): technika poskytující integrovaný rámec pro explicitní zacházení s časem, procesními proměnnými a chováním systému;
- 30) „DETAM“ (angl. *Dynamic Event Tree Analysis Method*): přístup sledující časově závislou evoluci hardverových stavů zařízení, hodnot procesních proměnných a stavů operátora během vývoje určitého scénáře.

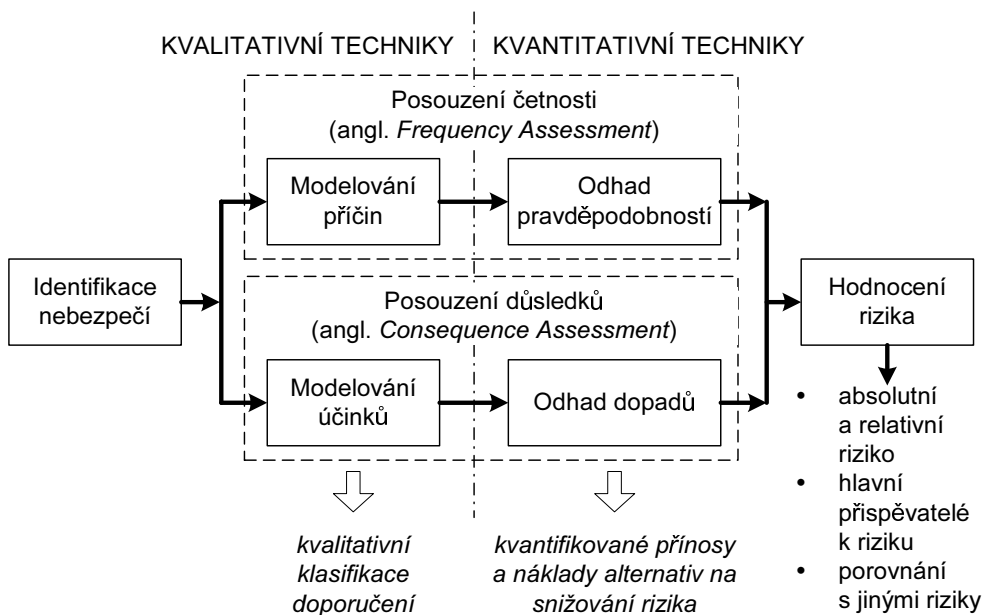
Výše uvedený výčet není úplný, v lit. [12] jsou uvedeny i další metody. Obecně lze konstatovat, že metody pro **kvalitativní analýzu** vycházející z expertních znalostí umožní, na základě vymezení systému a jeho rozsahu, identifikovat a popsat nebezpečí, poruchové režimy a scénáře. Řada metod poskytuje i návody na eliminaci rizik. Jejich výstupem může být i relativní stupnice nebezpečí.

Metody pro **kvantitativní analýzu** umožňují určit pravděpodobnosti a důsledky definovaných událostí v měřitelných jednotkách, jakými jsou například usmrcení či zranění osob vyjádřené ve finančním ekvivalentu. Deterministické metody kvantitativně popisují fyzikální jevy či proces evakuace osob.

Analyzovat důsledky selhání systému znamená mít jeho dobrou znalost jakož i znalost vztahů systému s okolím. Hodnocení pravděpodobností poruch jednotlivých prvků nebo podsystémů bývá principiálně založené na dvou odlišných přístupech: na použití intenzit poruch (pro elektrické a výrobní systémy) nebo na použití metod strukturální bezporuchovosti (pro budovy, mosty a jiné strukturální stavby).

Při analýze rizik se typicky pracuje s informacemi zatíženými neurčitostmi. Neurčitost vyplývá z inherentní nebo přirozené nestálosti materiálu či zařízení (např. kvalita osvětlení), z nedokonalosti modelu (vlivem parametrů, které byly v modelu zanedbány nebo vlivem typu použitého matematického modelu) nebo ze statistické neurčitosti. Po identifikování důsledků a pravděpodobností je možné vypočítat riziko a seřadit scénáře nebezpečí podle toho, jakým dílem přispívají k existenci rizika. Vlastní proces posuzování rizika jako součásti celkového procesu řízení rizika je vysvětlen na obr. 4-6 a měl by dát odpověď na tři otázky:

- 1) Co zlého se může stát?
- 2) Jak pravděpodobné je, že se to stane?
- 3) Jaké jsou důsledky?



Obr. 4-6: Proces posouzení rizika

Aby bylo možné uskutečnit hodnocení rizika ve smyslu obr. 4-6 na základě porovnání odhadnutých hodnot se zvolenými kritérii, musí být k dispozici vhodné míry na vyjádření rizika. Obecně se jedná o parametry definované jako funkce pravděpodobnosti uvažované události a jejich důsledků. Jedním z takovýchto parametrů je individuální riziko.

4.2.2 Individuální riziko

Individuální riziko (angl. *Individual Risk, IR*) je definované jako pravděpodobnost, že průměrná nechráněná osoba nacházející se v určitém místě je usmrcena v důsledku nehody způsobené existujícím nebezpečím, lit. [13]:

$$IR = P_f \cdot P_{dlf} \quad [4-3]$$

kde P_f – pravděpodobnost nehody;

P_{dlf} – pravděpodobnost usmrcení jedince v případě nehody.

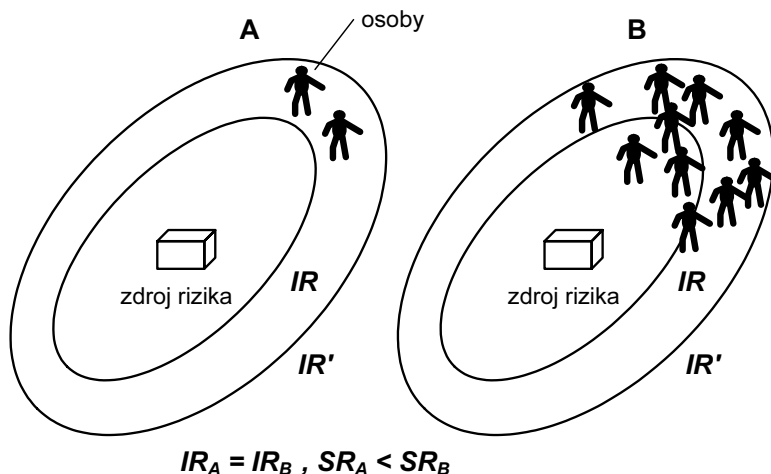
Tento parametr bývá též v literatuře označován jako roční individuální riziko (angl. *Individual Risk Per Annum, IRPA*) a závisí na místě, kde se jedinec nachází v daném čase a na obsahové náplni jeho činnosti. Pokud definice *IR* předpokládá trvalou přítomnost jedince na daném místě, je vhodná např. na určování rizika bydlení v záplavových zónách vodních staveb (přehrad, nádrží) apod. V oblasti dopravy se individuální riziko většinou udává jako počet usmrcených osob vztážený na vozidlo × km nebo osoba × km. Vztah mezi oběma vyjádřeními je zřejmý: vozidlu se 2 osobami jedoucímu na vzdálenost 100 km odpovídá 100 vozidel × 2 km nebo 200 osob × 1 km. V letecké dopravě se někdy riziko vztahuje na počet letů, neboť vzdálenosti jsou velmi velké a letecké nehody závisí především na počtu přistání a vzletů, ne na množství letových kilometrů.

Kromě uvedeného parametru IR se používá řada dalších možných vyjádření, např. lit. [14] popisuje další čtyři parametry:

- 1) *Loss of Life Expectancy* – očekávání ztráty života: ukazuje, jak různé příčiny ovlivňují očekávání, že může dojít k úmrtí;
- 2) *Delta Yearly Probability of Death* – roční přírůstek pravděpodobnosti úmrtí: počítá se intenzita, se kterou je potřebné realizovat danou činnost (ve vhodných jednotkách), aby se pravděpodobnost úmrtí vztažená na rok změnila definovaným způsobem;
- 3) *Activity Specific Hourly Mortality Rate* – hodinová úmrtnost při specifické činnosti: zohledňuje pravděpodobnost úmrtí vztaženou na jednotku času, která je spojena s určitou specifickou činností – jako konkrétní příklad lze uvést parametr „intenzita smrtelných nehod“ (angl. *Fatal Accident Failure Rate, FAFR*), který udává počet usmrcených osob za 1000 hodin expozice (vystavení se) určitému riziku;
- 4) *Death per Unit Activity* – úmrtí za jednotkovou činnost: nahrazuje časovou jednotku jednotkou pro hodnocení množství činnosti, např. počet pracovních úkonů nebo ujeté kilometry.

4.2.3 Společenské riziko

Společenské³ riziko (angl. *Societal Risk, SR*) je definováno jako vztah mezi četností událostí a počtem osob v dané populaci, které jsou postiženy specifikovanou úrovní poškození v důsledku působení specifikovaných nebezpečí. Zatímco individuální riziko uvádí pravděpodobnost úmrtí na konkrétním místě, společenské riziko udává počet usmrcených pro celou oblast bez ohledu na to, kde přesně v této oblasti k poškození došlo. Rozdíl je vysvětlený na obr. 4-7 – obě situace mají stejné úrovně individuálního rizika (IR a IR'). Protože však v situaci B je vyšší hustota osob v zóně ohrožení, B má vyšší společenské riziko SR_B .



Obr. 4-7: Rozdíl mezi individuálním a společenským rizikem

³⁾ Často se lze setkat též s alternativním výrazem „sociální“ riziko.

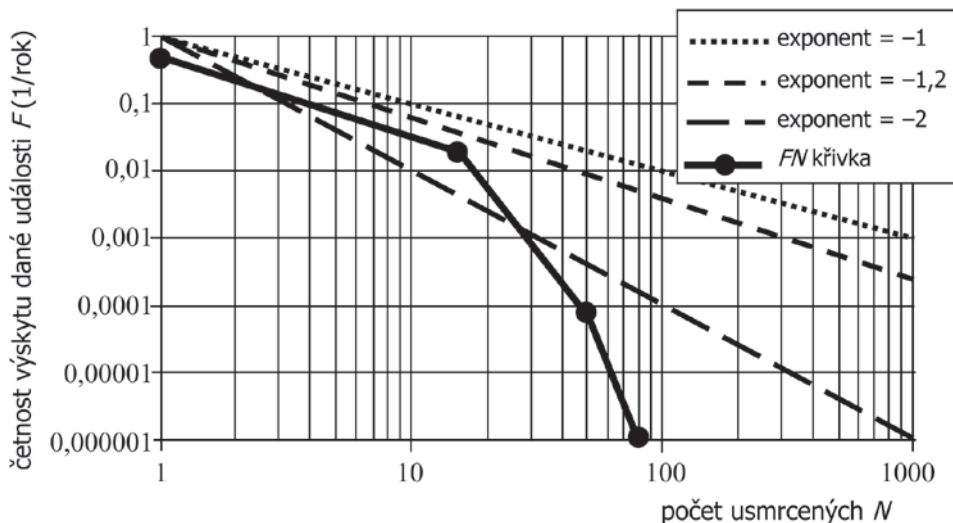
Vyjádřit společenské riziko lze opět různě (podrobnější přehled je k dispozici například v lit. [13]). I když výpočty individuálního a společenského rizika často vycházejí ze stejných údajů, zatím nebyl definován žádný celosvětově uznávaný matematický vztah mezi individuálním rizikem a funkcí hustoty pravděpodobnosti počtu usmrcených osob.

Společenské riziko se často graficky vyjadřuje ve tvaru *FN křivky* (angl. *FN curve*)⁴. Tato křivka znázorňuje „pravděpodobnost překročení“ daného limitu jako funkci počtu usmrcených osob x na dvojité logaritmické stupnici

$$1 - F_N(x) = P(N > x) = \int_x^{\infty} f_N(x) \cdot dx \quad [4-4]$$

kde $f_N(x)$ – funkce hustoty pravděpodobnosti počtu usmrcených osob za rok;
 $F_N(x)$ – funkce rozdělení pravděpodobnosti počtu usmrcených osob za rok.

Kritéria pro porovnávání FN křivek lze vytvořit několika způsoby. Například je možné vyjít z historických údajů – takové kritérium potom odráží přání společnosti udržet současnou úroveň rizika. Jiným způsobem, jak vytvořit kritérium pro FN křivku, je začít rozhodování o četnosti F pro $N = 1$ nebo více usmrcených. Tímto číslem by mohla být například průměrná úmrtnost na jedno vozidlo. Dalším krokem by bylo rozhodnutí o strmosti křivky, která se obvykle vyjadřuje pomocí exponentu. Typické exponenty jsou -1 a -2 . Znamená to, že pokud je $N = 1$, potom četnost pro $N = 10$ musí být $10\times$ nižší, pokud je exponent -1 , tj. 10^{-1} . Použití exponentu -2 by znamenalo, že četnost by měla být $100\times$ nižší, tj. 10^{-2} . Příklady FN křivky a různých kritérií jsou na obr. 4-8.



Obr. 4-8: Příklad FN křivky a různých kritérií

⁴⁾ Alternativní názvy: F/N diagram (angl. F/N plot), resp. graf kumulativní četnosti (angl. Cumulative Frequency Graph)