

**ČESKÁ SPOLEČNOST PRO JAKOST**  
Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1

**SPOLEHLIVOST VE VZTAHU  
K BEZPEČNOSTI A ANALÝZE RIZIK**



**MATERIÁLY Z XXIII. SETKÁNÍ  
ODBORNÉ SKUPINY PRO SPOLEHLIVOST**

Praha, květen 2006

## **OBSAH**

<b>OD ANALÝZ SPOLEHLIVOSTI K ANALÝZÁM RIZIK PŘI HODNOCENÍ MODERNÍ TECHNOLOGIE</b>	<b>3</b>
---	----------

*RNDr. Jaroslav Holý*

<b>HODNOCENÍ EKONOMICKÉ VÝHODNOSTI NAsAZENÍ ELEKTRONICKÉHO ZABEZPEČOVACÍHO SYSTÉMU</b>	<b>16</b>
--	-----------

*Ing. Jan Kamenický*

<b>SPOLEHLIVOST JAKO SOUČÁST ÚLOH HODNOCENÍ RIZIKA</b>	<b>27</b>
--	-----------

*RNDr. Jan Novák, PhD.*

# OD ANALÝZ SPOLEHLIVOSTI K ANALÝZÁM RIZIK PŘI HODNOCENÍ MODERNÍ TECHNOLOGIE

RNDr. Jaroslav Holý, ÚJV Řež a.s.

Seminář Odborné skupiny pro spolehlivost, Novotného lávka, Praha, 23.5.2006



Od analýz spolehlivosti k analýzám rizik při  
hodnocení moderní technologie

*Jaroslav Holý*

Ústav jaderného výzkumu Řež  
Oddělení analýz spolehlivosti a rizik

Seminář Odborné skupiny pro spolehlivost, Novotného lávka, Praha, 23.5.2006

## Téma a hlavní body příspěvku

- Zamyšlení nad dvěma příbuznými disciplínami aplikovaného výzkumu a jejich konkrétními aplikacemi pozitivně ovlivňujícími řadu atributů provozu průmyslových technologií – **analýzami spolehlivosti a analýzami rizik**.
- Vzájemný vztah a **koexistence** obou disciplín při jejich uplatnění.
- Společné a rozdílné prvky** jejich realizace.



## Analýzy spolehlivosti a analýzy rizik

- Analýzy spolehlivosti** – tématický okruh vymezený významem termínu „**spolehlivost**“ v ČSN (**bezporuchovost, udržovatelnost, zajištění údržby**) a okruhem metod pro hodnocení a zajištění požadované úrovně sledovaných atributů studovaného subjektu.
- Analýzy rizik** - tématický okruh vymezený významem termínu „**riziko**“ (součin pravděpodobnosti vzniku jevu a míry jeho následků) a okruhem metod pro hodnocení a zajištění požadované úrovně sledovaných atributů.



## Omezení diskuse k analýzám spolehlivosti a rizik v tomto příspěvku

- Obě diskutované disciplíny budou pojímány především v kontextu uplatnění **pravděpodobnostního přístupu**.
- Zaměření na vztah disciplín k pravděpodobnostnímu pojetí je jistým **omezením** záběru diskuse.
- Toto omezení je větší v případě **analýz bezpečnosti a rizik**, kde tradiční **deterministické metody** a oblasti řešené zcela bez využití teorie pravděpodobnosti zaujímají stále **významné místo**.
- Při hodnocení **spolehlivosti** se zdá být **implicitní** propojení s pravděpodobnostním fenoménem **intenzivnější**.



## Vztah analýz spolehlivosti a rizik z pohledu širě záběru při praktické realizaci

- ❑ **Analýzy spolehlivosti** jsou v praxi typické užším „plošným“ rámcem omezeným na komponentu nebo systém, zkoumají veškeré impulsy vedoucí ke ztrátě funkce analyzovaného subjektu.
- ❑ **Analýzy rizik** v praxi postihují technologický uzel nebo technologii jako celek, v tomto směru mají širší záběr než analýzy spolehlivosti.
- ❑ **Analýzy rizik** zkoumají pouze takovou ztrátu funkce studovaného subjektu, která má bezpečnostní význam, v tomto směru mají většinou užší záběr než analýzy spolehlivosti.
- ❑ Teoreticky je možné realizovat analýzu ztráty funkce (**spolehlivost**) i na úrovni záběru běžného pro **analýzy rizik**, v praxi však **nebývají** podobné analýzy prozatím typické.



## Vztah analýz spolehlivosti a rizik z pohledu složitosti matematického modelu

- ❑ **Analýzy spolehlivosti** pokrývají obecně užší sestavu prvků (rozsah systému nebo dokonce komponenty), důkladné soustředění na omezený počet elementů a nutnost zpracovat pouze omezený počet vazeb mezi nimi umožňuje využití složitějších sofistikovaných spolehlivostních modelů pro jednotlivé prvky analýzy.
- ❑ **Analýzy rizik** vykazují značně variabilní rozsah – od záběru srovnatelného s běžnými spolehlivostními analýzami k pokrytí technologie jaderně-energetického bloku s tisíci prvky.
- ❑ V praxi se ukazuje, že pro naplnění cílů **analýzy rizik** je důležitější postihu **technologie v celé šíři**, než detailní rozpracování modelu každého jejího prvku, parametrizace jednotlivých prvků a pro ně volené odpovídající **pravděpodobnostní** modely jsou proto obvykle **jednoduché** (tento závěr ovšem opomíjí složité nepravděpodobnostní přístupy využívané ke kvantifikaci řady prvků nízkového modelu).



## Vztah analýz spolehlivosti a rizik z pohledu složitosti matematického modelu (2)

- ❑ **Jednoduchost modelu** daného prvku **neznamená** při **analýze rizik** jednoduchost přístupu k odvození hodnoty jeho kvantitativních parametrů, při kvantifikaci mohou být využity velmi komplikované postupy nebo velmi rozsáhlé statistické soubory dat.
- ❑ Často využívanou možností spojenou s iterativností procesu **analýzy rizik** je výběr omezeného počtu klíčových prvků soustavy a orientace většiny dostupné kapacity právě na tyto prvky, tento postup umožňují **speciální nástroje** výběru klíčových prvků.



## Analýzy rizik jako kontinuální iterativní proces přibližování se realitě

- ❑ **Analýzy spolehlivosti** v praxi běžně popisují a prokazují kvalitu naplnění funkce omezeného rozsahu, jejíž naplnění bývá součástí sériové dodávky a po prvotním odladění vykazuje velkou míru stability.
- ❑ **Analýzy rizik** hodnotí složitý a rozsáhlý technologický komplex, u kterého je stabilitu nutné neustále monitorovat a posilovat, proto je pro ně typická opakovaná realizace a iterativní přístup, mají charakter procesu.
- ❑ Iterativnost přístupu je u **analýz rizik** dále posilována snahou snížit nejistotu modelu technologie jeho postupným zpřesňováním, jehož impulsy mohou být nové skutečnosti, ale i pokračující vývoj užití metodologie.



## Uplatnění speciálních nástrojů pro rozlišení záběru analýzy

- ❑ **Analýza důležitosti** (*importance analysis*) – přiřazuje jednotlivým prvkům modelu váhu dle významnosti modelem doložené, umožňuje **uspořádat spektrum prvků** modelu pro interní i externí potřeby (další vývoj modelu versus využití výsledků při aplikacích).
- ❑ **Analýza citlivosti** (*sensitivity analysis*) – hodnotí vliv **změn** v hodnotách vstupních kvantitativních parametrů modelu (popřípadě v logické struktuře modelu) na **výstupní kvantitativní charakteristiku** modelovaného subjektu, v podstatě jde o speciální případ analýzy důležitosti.
- ❑ Teoreticky je možné využít uvedené nástroje při obou typech analýzy. V minulosti však byly **speciální nástroje analýzy využívány téměř výhradně při analýzách rizika**. Pro současné **spolehlivostní analýzy** je ale typické stále **širší užití analýz citlivosti** (při nejistých vstupních datech jde často o daleko nejlepší možnost získání dostatečně informativního výstupu). Využití analýzy důležitosti je prozatím převážně omezeno na **analýzy rizik** a je jedním z klíčových kroků celého přístupu.



## Hodnocení nejistot

- ❑ Zde existuje **podstatný rozdíl** mezi oběma typy analýzy, přestože teoreticky je možné v obou případech pojmut ocenění nejistoty analogicky.
- ❑ **Spolehlivostní analýzy** většinou hodnocení nejistoty výsledků **neobsahují**, protože 1) toto hodnocení k naplnění cíle **není explicitně požadováno** 2) nejistoty výsledků jsou vzhledem k **menší složitosti logiky modelu** a charakteru výstupů **limitovány a kontrolovány**.
- ❑ Typický metodický postup **analýzy rizik** zahrnuje analýzu nejistot jako **nedílný krok** celého postupu.
- ❑ **Analýza nejistot** obvykle na **kvalitativní úrovni** obsahuje celkové přehledné zhodnocení všech druhů nejistoty a na **kvantitativní úrovni** řeší po zadání nejistoty jednotlivých vstupů (parametrů) postup nejistoty logikou celého pravděpodobnostního modelu až k charakterizování nejistoty kvantitativních výstupů.



## Rozsah technického pozadí analýzy

- ❑ Orientace **analýz rizika** na větší díl technologie, popřípadě technologii jako celek, předurčuje **širší záběr analýzy**, která musí pokrýt kromě spolehlivostních specifik jednotlivých prvků i specifika jejich **vzájemných vztahů**.
- ❑ Při typickém uspořádání moderní technologie, reagující na náročné požadavky na spolehlivost a bezpečnost a využívající k jejich naplnění různé formy principu **zálohování**, jsou často **vazby** mezi prvky pro ohodnocení technologie mnohem **důležitější** než prvky samotné.
- ❑ Nutné vazby mezi prvky technologie jsou uskutečňovány třemi způsoby: 1) celkovým designem 2) detaily designu a organizačními a provozními principy 3) vlastním provozem. Všechny tyto faktory musejí být, na rozdíl od běžných **spolehlivostních modelů**, zohledněny v **modelech bezpečnostních a rizikových**.



## Rozsah technického pozadí analýzy (2)

- ❑ Vazby mezi prvky vázané na **celkový design** odrážejí základní logiku funkčního uspořádání technologie – cesty přepravovaného média, dopravu energie od zdroje ke spotřebiči, informační toky. V **rizikovém modelu** technologie jsou tyto vazby součástí jeho logiky. V praxi proto bývá **struktura logiky rizikového modelu složitější** než u **modelu spolehlivostního** a jeho vyhodnocení může být velmi náročné i s progresivními metodickými postupy a moderní výpočetní technikou.
- ❑ Pro vazby mezi prvky popsané **detaily designu a organizačními principy** mají největší význam faktory s potenciálem pro vyřazení **zálohujících se prvků** technologie. Tato oblast je v analýzách rizik pokryta problematikou CCF (common cause failures) – **násobných poruch se společnou příčinou**.
- ❑ Vlastní provoz technologie je vždy do jisté míry spojen se **zásahy obsluhy** - na úrovni řízení nebo naopak podpory provozu. Akce obsluhy nelze v podstatě nikdy vymezit ve vztahu k jednomu prvku technologie, protože přímo nebo implicitně postihují **blíže neurčený soubor prvků**. Činnost obsluhy má proto na vazby mezi prvky technologie zásadní vliv a v **analýzách rizik** je jí pro dominantní význam věnována speciální široká oblast **HRA** (human reliability analysis).





## Analýzy spolehlivosti a rizik v normativních materiálech

- Problematika **spolehlivosti** a příbuzné tématické okruhy jsou subjektem řady předpisů České státní normy i norem evropských.
- Fenomén **spolehlivosti** je v České státní normě pokryt stále **výstižněji, důkladněji** a ve větší šíři, proces rozvoje **spolehlivostních metod** se jen s malým odstupem odráží v procesu vývoje **normativních materiálů**.
- V současné době jsou některé oblasti analýz svázané se **spolehlivostí** pokryty normou na úrovni umožňující využít text normy jako **samostatný studijní nebo aplikační materiál**.
- Analýzy rizik** na cílené pokrytí normativními materiály **teprve čekají**.
- Některé **dílní prvky** souboru norem pro **analýzy spolehlivosti** jsou v **analýzách rizik** **bezprostředně využitelné** – přinejmenším dokumentují a vysvětlují význam základních zavedených termínů.



## Analýzy spolehlivosti a rizik v ÚJV Řež

- Realizovány v **Oddělení analýz spolehlivosti a rizik**.
- S výjimkou počátečního období existence oddělení bylo **těžiště práce v minulosti v pravděpodobnostním hodnocení rizik**, nejprve ve spojení s termohydraulickými analýzami, později samostatně (1994).
- V samotných začátcích existence oddělení (1982-1986) byly hlavní náplní **analýzy spolehlivosti**, hrající roli **předchůdce komplexních analýz rizika**.
- Období **několika posledních let** je rovněž typické větším zaměřením na **analýzy spolehlivosti**, zde je příčinou **široká objektivní potřeba** takových analýz pro technologie současnosti.



## Analýzy spolehlivosti v nedávné a současné práci specialistů ÚJV Řež

- Rozsáhlý soubor analýz pro ověření splnění kritérií na požadovanou **spolehlivost nových systémů SKŘ EDU**.
- Spolehlivostní analýzy realizované pro **Transgas**.
- Spolehlivostní analýzy v rámci projektů pro **letecký průmysl**.
- Projekty **spolehlivostně zaměřené údržby**, zejména velký projekt pro jadernou elektrárnu Jaslovské Bohunice.
- Grant MPO zaměřený na hodnocení **spolehlivosti složité moderní průmyslové technologie**.
- Sběr **spolehlivostních dat**.



## Spolehlivostní analýzy pro Transgas

- Dvouletý projekt **Úvodní studie pro zavedení managementu spolehlivosti**.
- Cílem nebyly klasické spolehlivostní analýzy, ale vytvoření **základního spolehlivostního know-how** pro vybrané specialisty firmy, především pak úvodní kroky k přípravě a zavedení systému využívajícího **spolehlivostního aparátu při každodenním provozu**.
- Obsáhlá analýza vymezila prostor pro uplatnění managementu spolehlivosti ve vazbě na detailně analyzované **provozní podmínky technologie přepravy plynu**.
- Projekt splnil uvedený cíl, **prosadil fenomén spolehlivostní analýzy do různých úrovní řízení provozu** a zavedl soubor přístupů, které jsou v **původní nebo dále zdokonalené podobě využívány dodnes**.
- V rámci projektu byla teoreticky řešena i otázka **propojení analýz spolehlivosti s analýzami rizik**, tento směr řešení nebyl ve firmě **Transgas** doposud rozvinut.



## Analýzy pro ověření splnění spolehlivostních kritérií pro nové SKŘ EDU

- JE Dukovany postupně nahrazuje starší systém kontroly a řízení na všech blocích moderními systémy.
- Součástí dodávky nových systémů bylo i prokázání jejich spolehlivosti splněním kvantitativních kritérií definovaných na JE Dukovany.
- Průkaz spolehlivosti připravený dodavatelem byl při revizi v ÚJV shledán neúplný a nepřesvědčivý.
- ÚJV Řež se podílel na přepracování podstatné části analýz jako součást detailní diskuse s dodavatelem.
- Problémem byla nutnost propojit původně spolehlivostní rámec analýz s celou širší kontextu provozu jaderné energetické technologie a nasadit k tomuto účelu prostředky typické spíše pro rizikové modely.



## Spolehlivostní analýzy pro letecký průmysl

- Spolupráce ÚJV Řež s VZLÚ a s firmou EVEKTOR Kunovice.
- Klasické spolehlivostní analýzy vybraných systémů nově vyvíjeného letounu (EVEKTOR).
- Zobecnění závěrů z konkrétních analýz a řešení otázek spojených s nedostatkem konkrétních spolehlivostních dat (VZLÚ).
- V tomto případě se zadání **spolehlivostní analýzy** přirozeně prolíná s řešením **problematiky rizika**.



## Projekty spolehlivostně zaměřené údržby

- ❑ **Spolehlivostně** zaměřená **optimalizace údržby** je velmi **perspektivní** aplikací ideji spolehlivostní analýzy pronikající z oblasti čisté spolehlivosti technologie ve smyslu kvantitativního sledování **naplnění její funkce až k řešení otázek typu cost benefit**.
- ❑ Obecným cílem je měnit intenzitu plánované údržby v souladu se spolehlivostními charakteristikami komponent a systémů tak, aby při udržení nebo pouze minimálním snížení spolehlivosti komponenty, systému nebo technologie došlo k výrazným úsporám nebo aby při zachování aktuálních nákladů byla podstatně zvýšena spolehlivost.
- ❑ V praxi se ukazuje, že tento typ aplikací bývá při realizaci posunut do velmi praktické roviny, kde je sofistikovaný metodický postup významně doplňován rozhodnutími založenými na expertním odhadu vznikajícími při komunikaci se specialisty hodnocené technologie a analýza je tak orientována především na složku zajištění údržby.



## Projekty spolehlivostně zaměřené údržby (2)

- ❑ **Spolehlivostně zaměřená** údržba má svůj protějšek v **rizikově orientované** údržbě.
- ❑ V praxi existují tendence rozvíjet především projekty **spolehlivostně** orientované údržby s **potenciálně pozitivním ekonomickým efektem**, projekty **rizikově** zaměřené údržby nemají podporu v ekonomické výhodnosti, v zákonné normě ani v dalších vlívech (nejblíže tomuto záměru je jaderná energetika).
- ❑ ÚJV Řež participoval na projektech **spolehlivostně zaměřené údržby** pro **Transgas, JE Dukovany, JE Temelín**.
- ❑ V současné době je ÚJV Řež řešitelem rozsáhlého projektu **spolehlivostně zaměřené údržby** pro **JE Jaslovské Bohunice**.



## Projekt zaměřený na analýzy spolehlivosti moderní technologie

- Řešen od poloviny roku 2004 do konce roku 2006.
- Grantový projekt MPO, realizován v ÚJV ve spolupráci s Technickou univerzitou Liberec.
- Cílem je kompilovat a dále rozvíjet široké spektrum pravděpodobnostně založených metod **analýz spolehlivosti** a připravit tak zázemí pro spolehlivostní zpracování modelu na úrovni rozsáhlé moderní technologie.
- V uplynulých dvou letech probíhal projekt dle plánu a soustředil se na **metodickou přípravu** nástrojů pro široký okruh řešené problematiky, jednak přímo orientované na základní prvky spolehlivostní analýzy, v neposlední řadě však pokrývající i řadu **příbuzných oblastí přesahujících do záběru analýzy rizika**.



## Projekt zaměřený na analýzy spolehlivosti moderní technologie (2)

- V roce 2006 jsou dokončovány jednotlivé etapy zaměřené na adaptaci metodických postupů **spolehlivostní analýzy** a příbuzných analýz, hlavní objem kapacit je pak orientován na praktickou aplikaci.
- Pro praktickou aplikaci byla vybrána **technologie přepravy plynu** provozovaná v Česku na celorepublikové úrovni společností **Transgas RWE Net**.
- Cílem aplikace je vyvinout **základ pravděpodobnostního modelu vrcholové logiky** provozování přepravní soustavy, postihujícího **spolehlivostní** aspekty provozu (naplnění funkce soustavy).



## Projekt zaměřený na analýzy spolehlivosti moderní technologie (3)

- ❑ Výsledky analýzy by měly postihnout nejen specifika současného stavu s Transgas RWE Net jako stále víceméně **monopolním** zajišťovatelem služby, ale v předstihu adresovat i **složitější podmínky volného liberalizovaného trhu** s přepravními službami odpovídajícího novým předpisům reprezentovaným Přepravním řádem.
- ❑ Jako prostředí pro konstrukci modelu přepravní soustavy byla zvolena **Markovská analýza**, hlavními důvody volby byly 1) snaha zvládnout a demonstrovat užití méně typického, i když velmi silného nástroje spolehlivostní analýzy 2) omezení klasických metod spolehlivostní analýzy a jejich malá vhodnost pro využití k reprezentaci mnohastavové reality provozu soustavy.



## Projekty sběru spolehlivostních dat

- ❑ Tyto projekty jsou v podstatě **ekvivalentem spolehlivostní analýzy** jednotlivé komponenty, tj. speciálním případem spolehlivostního komplexu logika + parametry, kde logická struktura degraduje do jediné komponenty.
- ❑ Projekty sběru spolehlivostních dat mohou být prvním (nebo i souběžným) krokem v celkové realizaci spolehlivostní rizikové analýzy, mohou však být také předstupněm analýzy rizik, která se rovněž neobejde bez spolehlivostních dat.
- ❑ V ÚJV Řež jsou **projekty sběru spolehlivostních dat obvykle svázané s hodnocením rizik**, data zde mají atributy potřebné pro realizaci základů spolehlivostní analýzy, nemusí však pokrývat požadavky na využití v rámci složitějšího spolehlivostního modelu.
- ❑ Příkladem projektu orientovaného mimo jiné na sběr spolehlivostních dat je nový kontrakt na **vytvoření systému sběru dat pro přípravu kvantitativních vstupů pravděpodobnostní studie bezpečnosti pro JE Temelín**.



## Závěrečné shrnutí

- ❑ **Analýzy spolehlivosti** a **analýzy rizik** jsou příbuznými disciplínami využívajícími obdobné prostředky (často proto realizované obdobnými pracovními týmy).
- ❑ **Analýzy rizik** mají často **širší** a **komplexnější záběr** jak z pohledu **rozsahu** studovaného subjektu, tak z hlediska **šíře** analyzovaných atributů jeho existence.
- ❑ Klíčovým společným obecným prvkem obou disciplín je **využití pravděpodobnostní** míry k numerickému popisu kvality vlastností studovaného subjektu.
- ❑ Současná realita provozu průmyslových i jiných technologií vede ke **zvýšené poptávce** po uplatnění tohoto typu analýz.



# HODNOCENÍ EKONOMICKÉ VÝHODNOSTI NASAZENÍ ELEKTRONICKÉHO ZABEZPEČOVACÍHO SYSTÉMU

*Ing. Jan Kamenický*

*Technická univerzita v Liberci, Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií*

## 1. Úvod

Na objektech obecně vznikají z nejrůznějších příčin škody. Příčinou škod mohou být vnitřní (např. poruchy), ale právě tak nějaké vnější okolnosti, které inicializují situaci, při níž vznikne škoda. Například neoprávněný vstup do objektu, vykradení, požár, přechod nějaké uvažované technologie do nepovoleného pole parametrů, atd. K zabránění vzniku škody, přesněji řečeno k její minimalizaci, se na objekt instaluje zabezpečovací zařízení. Zabezpečovací zařízení je určeno k tomu, aby zabránilo vzniku škody z nějaké jedné specifické příčiny. Pořízení a provoz zabezpečovacího zařízení je však spojen s náklady. K posouzení ekonomické oprávněnosti nasazení zabezpečovacího systému se předkládá model nákladů a výnosů spojených s jeho nasazením. Metodika uvádí do vztahu velikost škody na objektu z nějaké jedné specifické příčiny a investičních a provozních nákladů na pořízení konkrétního zabezpečovacího systému a jeho spolehlivost s cílem zjištění ekonomické oprávněnosti jeho nasazení. V případě, že existuje více variant realizace zabezpečení, dovolí vybrat ekonomicky nejvýhodnější.

Předložený dokument uvádí jak obecné řešení problému, tak úplnou strukturu praktického postupu, který vede k jednoznačnému výslednému rozhodnutí. Forma zpracování je v podobě připravené M. Jirmanem v diplomové práci [1], kterou na TU Liberec, zadal a na způsob řešení zaměřil Ing. P. Fuchs, CSc a konzultoval Ing. M. Marko.

## 2. Analýza ekonomické výhodnosti aplikace zabezpečovacího systému k ochraně objektu

### 2.1 Označení a zkratky

EMC	[-]	elektromagnetická kompatibilita (zde pro EZS)
EZS	[-]	elektronický zabezpečovací systém
$F_r$	[Kč/rok]	pravidelné provozní náklady za jeden rok
$m$	[-]	index m-tého provedení EZS
PCO	[-]	pult centrální ochrany
$P$	[Kč]	investiční pořizovací náklady na EZS
$P_r$	[Kč/rok]	roční podíl investičních pořizovacích nákladů na jeden rok života EZS
$Q$	[Kč/rok]	celkové roční náklady na EZS
$R_r$	[Kč/rok]	průměrné náhodně se objevující náklady na obnovu EZS po poruchách připadající na jeden kalendářní rok
$S$	[Kč]	průměrná škoda
$S_r$	[Kč/rok]	průměrná roční škoda na objektu chráněném EZS



$S_{r0}$	[Kč/rok]	průměrná roční škoda na objektu nechráněném EZS
$S_{rz}$	[Kč/rok]	průměrná roční škoda na objektu chráněném EZS v modelu se zbytkovou škodou
$S_{rzm}$	[Kč/rok]	průměrná roční škoda na objektu chráněném EZS v modelu se zbytkovou škodou pro $m$ -tý EZS
$S_{zabs}$	[Kč]	škoda zbytková absolutní
$S_{zrel}$	[1]	koeficient škody zbytkové relativní
$S_{z0}$	[Kč/rok]	průměrná roční zbytková škoda na objektu
$t$	[rok]	uvažovaná doba
$t_s$	[rok]	střední doba mezi vzniky/realizacemi škod
$t_{s0}$	[rok]	střední doba mezi výskyty iniciačních událostí
$U$	[1]	asymptotická nepohotovost (zde EZS)
$U_m$	[1]	asymptotická nepohotovost (zde EZS) pro $m$ -tý EZS
$W_r$	[Kč/rok]	roční provozní náklady EZS
$Z$	[Kč/rok]	průměrné roční ztráty (škody plus náklady)
$Z_z$	[Kč/rok]	průměrné roční ztráty v modelu se zbytkovou škodou
$Z_{zm}$	[Kč/rok]	průměrné roční ztráty v modelu se zbytkovou škodou pro $m$ -tý EZS
$\lambda$	[h <sup>-1</sup> ]	intenzita poruch
$\tau$	[rok]	doba života zabezpečovacího systému

## 2. 2 Model hodnocení výhodnosti aplikace zabezpečovacího systému

Mysleme konkrétní objekt, který má být opatřen elektronickým zabezpečovacím systémem (EZS), abychom dosáhli minimalizace škody z nějaké uvažované příčiny, nazývané také iniciační událostí. Předpokládáme, že známe z historických statistických sledování nebo z profesionálního kvalifikovaného odhadu velikost průměrné škody  $S$ , která vzniká v jednotlivém případě při objevení se iniciační události uvažovaného typu a také střední dobu  $t_{s0}$  mezi výskyty (opakovanými) takových iniciačních událostí. Počítáme-li  $t_{s0}$  v rocích, je průměrná škoda připadající na jeden rok provozu objektu nechráněného zabezpečovacím systémem z dané (uvažované) příčiny  $S_{r0}$

$$S_{r0} = S / t_{s0}. \quad (1.1)$$

Vyskytne-li se iniciační událost pro vznik škody, zabezpečovací systém nemá sice vliv na velikost jednorázově vznikající škody  $S$ , ale má možnost svým působením zabránit realizaci škody, kterou má iniciační událost za následek tím, že z řady nezávisle vznikajících iniciačních událostí u většiny nepřipustí jejich rozvoj až do škody. Jen v případě časové koincidence iniciační události a právě trvajících poruch zabezpečovacího systému se iniciační událost rozvine a škoda se realizuje. Ve formuli (1.1) se tím  $t_{s0}$  prodlouží na střední dobu mezi vznikem škod  $t_s$  a průměrná škoda připadající na jeden rok provozu objektu chráněného zabezpečovacím systémem se sníží z  $S_{r0}$  na  $S_r$

$$S_r = S / t_s. \quad (1.2)$$

Pravděpodobnost, že EZS nebude schopen plnit projektovanou úlohu v okamžiku, kdy to bude potřeba (bude o to žádán vzniklou iniciační událostí), vyjadřuje v oboru spolehlivosti číselný ukazatel „nepohotovost“, viz [2]. Jelikož v předkládané metodice budeme uvažovat v dlouhých obdobích a s průměrnými hodnotami mezi iniciačními událostmi  $t_{s0}$ , odpovídajícím ukazatelem spolehlivosti EZS bude asymptotická nepohotovost  $U$  z intervalu  $U \in <0;1>$ , viz [2]. Vztah mezi střední dobou skutečného objevování se škod  $t_s$  a střední dobou výskytu iniciačních událostí  $t_{s0}$  je dán formulí

$$t_s = t_{s0} / U, \quad (1.3)$$

což umožňuje přepsat (1.2) na

$$S_r = S \cdot U / t_{s0}. \quad (1.4)$$

Z (1.4) je patrné, že průměrná roční škoda  $S_r$  objektu chráněného pomocí EZS je menší než průměrná roční škoda nechráněného objektu  $S_{r0}$ ,  $S_r \leq S_{r0}$  a že  $S_r$  lze kreslit jako závislost na asymptotické nepohotovosti  $U$  příslušné k EZS, viz Obr.1. Vzhledem k možnosti řádově odlišných hodnot nepohotovosti  $U$  zabezpečovacího systému, je vhodné Obr.1 kreslit v logaritmicko - logaritmických souřadnicích mezi  $S_r$  a  $(1 - U)$ . Průměrná roční škoda  $S_r$  má v těchto souřadnicích klesající lineární průběh.

Instalace konkrétního EZS s nepohotovostí  $U$  za účelem snížení frekvence rozvoje škody na objektu po vzniku iniciační události je spojena s finančními náklady. Ty se skládají jednak z jednorázových pořizovacích nákladů  $P$ , jednak z opakovaných ročních provozních nákladů  $W_r$ . Jednorázové pořizovací (investiční) náklady  $P$  sestávají ze dvou hlavních hodnot: z pořizovací ceny EZS jako výrobku u jeho zhotovitele a z nákladů na prvotní instalaci a uvedení do provozu. Opakované roční provozní náklady sestávají opět ze dvou podskupin nákladů: z ročních nákladů na funkční provoz EZS a z ročních nákladů na pravidelnou údržbu a nákladů na obnovu EZS po jeho poruchách.

Do Obr.1 bychom potřebovali zakreslit nejen průměrnou roční škodu  $S_r$ , ale také celkové roční náklady  $Q$  na provoz EZS a pak hledat ekonomické optimum mezi snižováním škody a zvyšováním nákladů na pořízení a provoz EZS. Pro následující úvahu vycházíme z předpokladu, že na základě údajů od výrobce EZS a panujícího stavu techniky známe dobu života zabezpečovacího systému  $\tau$ , kterou bude menší z hodnot pro dobu technického života a pro morální životnost EZS. Pro dobu života EZS pokládáme jeho stav za odpovídající aktuálním technickým trendům a technologii elektronických systémů, které podporují jeho dobrou funkčnost. Funkčností EZS se myslí schopnost plnit projektované úlohy (jako jsou reakce na iniciační události, vyvolání zásahu, vyvolání signalizace, odpovídající autodiagnostika, snadná obsluha a údržba, robustnost proti elektromagnetickému ovlivňování-EMC, robustnost vůči sabotáži, atd.). Po uplynutí doby života  $\tau$  se předpokládá celková inovace zabezpečovacího systému. Na základě pořizovacích nákladů EZS o hodnotě  $P$  a doby života  $\tau$  určíme roční podíl investičních nákladů  $P_r$  na rok života EZS

$$P_r = P / \tau. \quad (1.5)$$

Celkové roční náklady na zabezpečovací systém  $Q$  pro období jeho života jsou pak

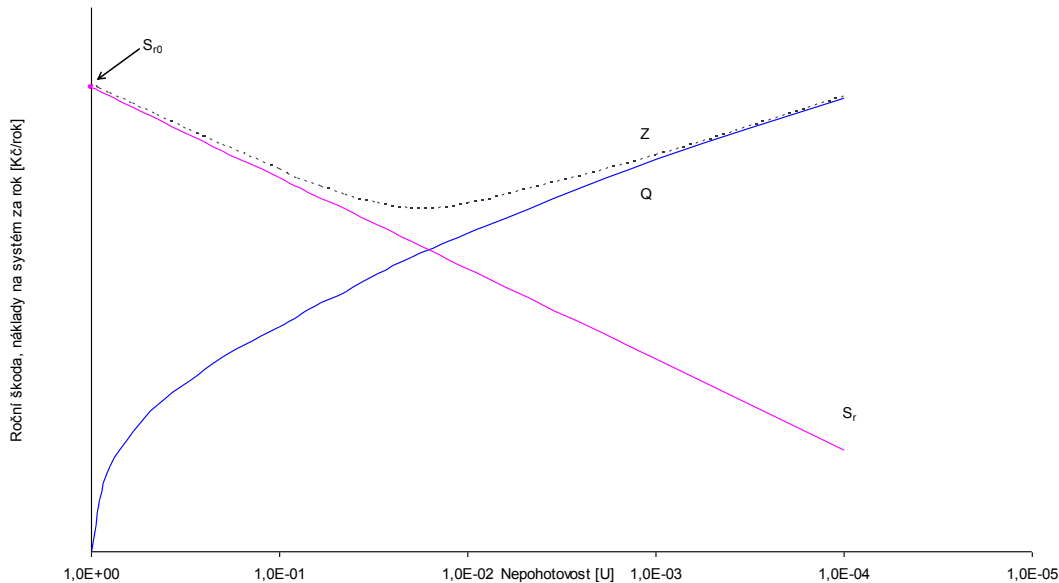
$$Q = P_r + W_r. \quad (1.6)$$

Budeme-li nyní pro základní vysvětlení metodiky předpokládat, že existuje spojitá, monotónně rostoucí funkce ročních nákladů na zabezpečovací systém  $Q$  v závislosti na jeho pohotovosti  $(1 - U)$ , můžeme také  $Q$  zakreslit do Obr.1.

Provozovatel objektu chráněného EZS má průměrné roční ztráty  $Z$ , které se skládají ze dvou složek, a to z průměrné roční škody  $S_r$  a z celkových ročních nákladů na zabezpečení  $Q$

$$Z = S_r + Q = S_r + P_r + W_r. \quad (1.7)$$

Průměrné roční ztráty  $Z$  lze také zakreslit do Obr.1, jelikož obě její složky, jak  $S_r$ , tak  $Q$ , jsou funkce téže nepohotovosti  $U$  příslušné k zabezpečovacímu systému. V Obr.1 můžeme nyní posuzovat průběh ročních ztrát  $Z$  v závislosti na nepohotovosti  $U$ . Existuje-li minimum na jejich grafu, můžeme stanovit jako ekonomicky nejvýhodnější ten EZS, jehož nepohotovost minimalizuje funkci  $Z$ , protože při něm se dosahuje minima součtu ročních škod a ročních nákladů na zabezpečení objektu pro sledované inicializační události.



Obr. 1: Základní model hodnocení ekonomické výhodnosti aplikace EZS

### 2.3 Model se zbytkovou škodou

Dosud jsme pro zjednodušení předpokládali, že při zapůsobení zabezpečovacího systému po objevení se iniciační události nevznikne vůbec žádná škoda. Předpoklad nulových škod po zapůsobení EZS je v praxi často nerealistický. Například po detekci požáru zůstanou škody po tzv. zahoření, které vlastně inicializuje akci zabezpečovacího systému. Rovněž po detekci neúspěšného vloupání může zůstat určitá škoda. Metodiku a náš model přibližujeme proto k reálné situaci zavedením zbytkové škody, která zůstane i po úspěšném zapůsobení EZS.

Roční zbytkovou škodu  $S_{z0}$  můžeme stanovit buď z absolutní zbytkové škody  $S_{zabs}$ , zůstávající po každém zapůsobení EZS tím, že ji rozložíme na dobu mezi výskyty iniciačních událostí  $t_{s0}$

$$S_{z0} = S_{zabs} / t_{s0} \quad (1.8)$$

nebo se zadá po kvalifikovaném expertním odhadu relativně, koeficientem  $S_{zrel} = S_{zabs} / S$ ,

z celkové škody a pak platí  $S_{zabs} = S \cdot S_{zrel}$  a

$$S_{z0} = S \cdot S_{zrel} / t_{s0} = (S / t_{s0}) \cdot S_{zrel} = S_{r0} \cdot S_{zrel} \quad (1.9)$$

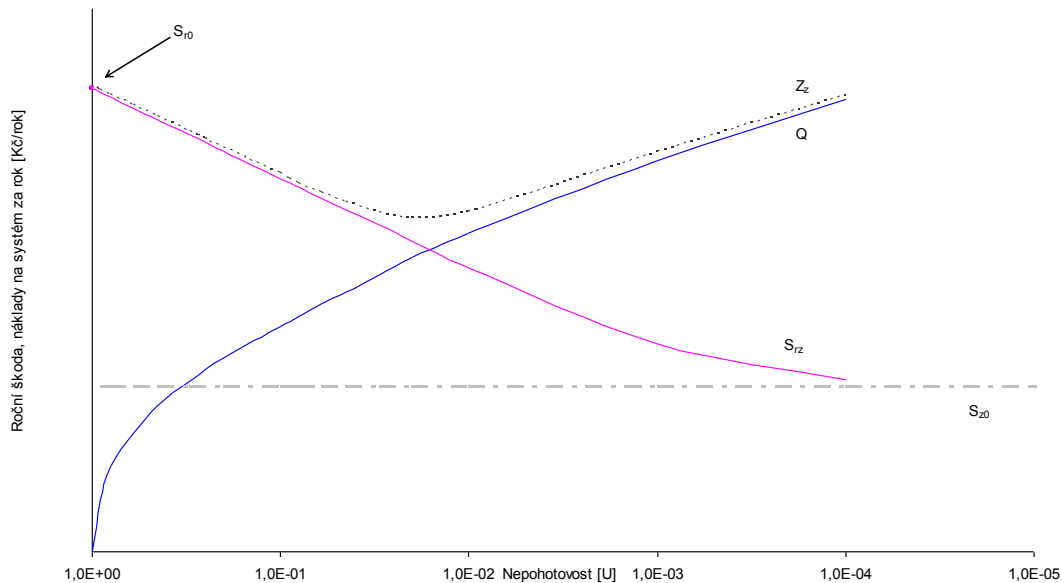
Zbytková roční škoda  $S_{z0}$  se nemění v závislosti na  $U$ . Zásah zabezpečovacího systému na ni nemá vliv. Pro průměrnou roční škodu  $S_{rz}$  (při platnosti modelu se zbytkovou škodou) pak platí

$$S_{rz} = (S_{r0} - S_{z0}) \cdot U + S_{z0} \quad (1.10)$$

Celkové roční náklady  $Q$  na zabezpečovací systém jsou stejné jako v situaci, kdy na objektu nevznikaly zbytkové škody, a jsou tedy dány vztahem (1.6). Průměrná roční ztráta  $Z_z$  na objektu se zbytkovou škodou je určena modifikovaným vztahem (1.7)

$$Z_z = S_{rz} + Q = S_{rz} + P_r + W_r \quad (1.11)$$

Situaci ilustruje Obr.2, který se od Obr.1 liší v tom, že průběh ročních škod  $S_{rz}$  neklesá lineárně jako dříve průběh  $S_r$ , nýbrž se stoupající pohotovostí  $(1 - U)$  zabezpečovacího systému se limitně blíží úrovni roční zbytkové škody  $S_{z0}$ .



**Obr. 2:** Model hodnocení ekonomické výhodnosti aplikace EZS na objekt se zbytkovou škodou

## 2.4 Model se zbytkovou škodou a s diskretním počtem variant aplikovatelného EZS

Dosud jsme předpokládali, že pro zabezpečení objektu máme k dispozici spojitou množinu zabezpečovacích systémů, pro které závislost celkových nákladů na zabezpečení  $Q$  v závislosti na pohotovosti zabezpečovacího systému  $(1 - U)$  monotónně roste a také to, že optimalizační úloha se řeší výběrem zabezpečovacího systému s nepohotovostí  $U$ , která minimalizuje roční náklady  $Z$ , potažmo  $Z_z$ . Tento předpoklad je evidentně nerealistický. Reálná je situace, kdy k prodloužení periody mezi opakováním škod je k dispozici jen jeden nebo nanejvýše nějaký počet  $m$  konkrétních zabezpečovacích systémů s různými náklady a nepohotovostmi. Zabezpečovacích systémů tedy existuje diskretní počet a musíme rozhodnout

- o ekonomické přijatelnosti zabezpečovacího systému, tj. zda škody a náklady s ním spojené nejsou větší než škody na nechráněném objektu
- který ze zabezpečovacích systémů je ekonomicky nejvýhodnější.

U diskretního počtu konkurujících si EZS systémů nepředpokládáme podmínku monotónního růstu nákladů na zabezpečení objektu v závislosti na jejich pohotovosti, nýbrž škody a náklady pouze přiřazujeme k nepohotovostem platným pro konkrétní EZS. Tento postup ilustruje Obr.3.

Průběh průměrné roční škody (v modelu se zbytkovou škodou)  $S_{rz}$  znázorněný na Obr.3 je totožný s průběhem na Obr.2 a je dán vztahem (1.10). Je kreslen jako spojitá funkce nepohotovosti  $U$ , ale v obrázku by se již nemusel vyskytovat. Ponecháváme jej pouze kvůli lepší orientaci a pro možnost srovnání se situací na Obr.1 a Obr.2. Místo spektra systémů se spojitou funkcí závislosti ročních nákladů  $Q$  na nepohotovosti  $U$  (jak se uvažovalo u Obr.1 a Obr.2) se nyní vyskytuje diskretní počet  $m$  systémů s jejich náklady  $Q_m$ . Ke každému z  $m$  systémů je přiřazena jeho nepohotovost  $U_m$ , kterou je evidentně potřeba určit jako samostatnou spolehlivostní úlohu. Z hodnot  $U_m$  a ze znalosti průměrné roční škody na nechráněném objektu  $S_{r0}$  a zbytkové roční škody  $S_{z0}$  určíme jednotlivé hodnoty průměrné roční škody  $S_{rz_m}$  na objektu se zbytkovou škodou jako

$$S_{rz_m} = (S_{r0} - S_{z0}) \cdot U_m + S_{z0}. \quad (1.12)$$

Z nákladů na konkrétní zabezpečovací systém  $Q_m$  s nepohotovostí  $U_m$  a z hodnot

průměrné roční škody  $S_{rzm}$  lze určit jednotlivé roční ztráty  $Z_{zm}$ , které patří ke konkrétním zabezpečovacím systémům

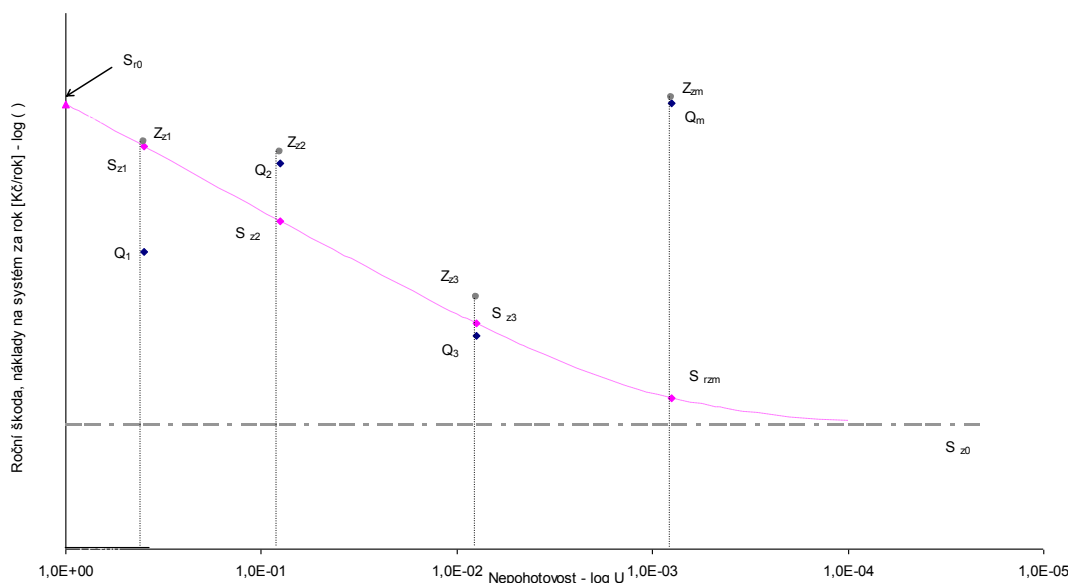
$$Z_{zm} = S_{rzm} + Q_m. \quad (1.13)$$

Reálnou situaci s jednotlivými diskretními hodnotami znázorňuje Obr.3.

Máme-li rozhodnout, zda je ekonomicky výhodné aplikovat pro chránění objektu zabezpečovací systém, je nutno porovnat hodnotu průměrné roční škody na nechráněném objektu  $S_{r0}$  s hodnotou průměrných ročních nákladů  $Z_{zm}$  konkrétního  $m$ -tého zabezpečovacího systému.

Je-li

- $Z_{zm} < S_{r0}$ , je aplikace  $m$ -tého zabezpečovacího systému ekonomicky výhodná,
- $Z_{zm} \rightarrow S_{r0}$ , o ekonomické výhodnosti aplikace se nelze jednoznačně vyjádřit,
- $Z_{zm} > S_{r0}$ , je aplikace  $m$ -tého zabezpečovacího systému ekonomicky nevýhodná.



**Obr. 3:** Diskretní model hodnocení ekonomické výhodnosti aplikace EZS

Máme-li rozhodnout, který systém z množiny čítající  $m$  systémů je nejvýhodnější, musíme nalézt systém s nejnižší hodnotou  $Z_{zm}$ . Takový systém nemusí být jediný.

Variantu modelu, který popisuje výběr zabezpečovacího systému z diskretní množiny dostupných systémů, považujeme za úplné obecné řešení úlohy nalézt ekonomické souvislosti mezi škodou na objektu objevující se po vzniku iniciační události, dobou opakování se iniciačních událostí a mezi náklady na variantní zabezpečovací systémy a jejich nepohotovostí.

### 3. Příklad

Metodika hodnocení ekonomické výhodnosti instalace EZS k ochraně objektu je demonstrována na následujícím příkladu. Neuvažuje se ochrana jednoho objektu sadou možných zabezpečovacích systémů, mezi nimiž se vybírá nejvýhodnější, nýbrž ochrana několika různých objektů s různými v nich vznikajícími škodami několika typovými alarmy. Posuzuje se, pro které z nich je aplikace tohoto EZS oprávněná. Na nich se ukazuje rozhodování o ekonomické oprávněnosti či nevýhodnosti nasazení EZS. Rozdílné objekty jsou modelovými příklady běžně se vyskytujícími vozidel. V číselných aplikacích se proto opakují stejné investiční a provozní náklady na EZS a mění se jeho nepohotovosti a hodnoty

škod, aby odpovídaly situaci v chráněném objektu. Uvažovaným zabezpečovaným objektem je automobil, rozdílné ceny jsou řádově odlišné z důvodu vyšší názornosti aplikace předkládané metodiky. Do objektu je nainstalován zabezpečovací systém zaměřený na to, aby zabránil vykradení. Zbytková škoda na objektu (rozbité okno, odřený lak, poškozené zámky atd.) se odhaduje v závislosti na hodnotě vozidla.

EZS je napájen z hlavního akumulátoru a je zálohován vlastní baterií, z tohoto důvodu není uvažována porucha napájení. Za předpokladu, že EZS je po dobu údržby po poruše v nefunkčním stavu, lze říci, že doba údržby po poruše je rovna střední době do obnovy a tato byla odhadnuta na 24 hodin.

Explikační příklad pokračuje shromážděním ekonomických dat pro tři hodnocené situace. Škody v jednotlivých případech jsou stanoveny takto: luxusní vůz - 1 000 000 Kč, vůz střední třídy - 250 000 Kč a ojetina - 50 000 Kč. Vznik iniciační události napadení objektu předpokládáme s periodou jednou za dvacet let, tedy  $t_{s0} = 20$  let (sloupec D v následujících tabulkách).

Nyní je potřeba sumarizovat do celkových ročních nákladů  $Q$  pořizovací náklady  $P_r$  a pravidelné provozní a údržbové náklady zabezpečovacích systémů  $W_r$ .

Do ročních nákladů  $W_r$  byly zahrnuty pravidelné provozní náklady  $F_r$  a průměrné náhodně se objevující náklady na obnovu po poruchách  $R_r$ .  $F_r$  se může skládat z ceny za výměnu záložního akumulátoru, která je 1 000 Kč a podle doporučení výrobce by se měla měnit každý rok, z pravidelných měsíčních poplatků za připojení zabezpečovacího systému na pult centrální ochrany, kam se hlásí ostraze případy napadení objektu (1 000 Kč/rok) a případně i z poplatků GSM operátorovi (opět 1 000 Kč/rok), pokud je alarm touto možností vybaven.  $F_r = 1\,000 + 1\,000 + 1\,000 = 3\,000$  Kč/rok v případě nejvyšší třídy zabezpečovacího systému.

Připravená excelovská tabulka realizuje elementární číselné operace podle formulí uvedených obecně v metodice a dovolí učinit požadované závěry o ekonomické výhodnosti aplikace daného EZS na uvažovaný objekt (nebo některého z konkurenčních EZS). Sloupce tabulky obsahují tyto údaje:

- A index případu  $m$ ,
- B škodu  $S$  na objektu (když se jeho napadení realizuje, rozvine),
- C škodu zbytkovou absolutní  $S_{zabs}$  (která zůstává po iniciačním napadení objektu i když správně zapůsobí EZS),
- D střední dobu mezi výskyty iniciačních událostí  $t_{s0}$ ,
- E průměrná roční škoda na objektu nechráněném EZS  $S_{r0}$ ,
- F nepohotovost  $U$  EZS pro daný případ,
- G roční investiční náklady na EZS,
- H roční náklady na provoz a údržbu,
- I celkové roční náklady  $Q$  na EZS,
- J roční škoda z realizace napadení, přestože je objekt chráněn EZS,
- K průměrnou roční zbytkovou škodu  $S_{z0}$ ,
- L celkovou průměrnou roční škodu na objektu chráněném EZS  $S_{rzm}$ ,
- M průměrné roční ztráty na objektu chráněném EZS  $Z_{zm}$ .

V následujících tabulkách jsou uvedeny typové případy pro aplikaci výše uvedené metodiky. Jako vzorové zabezpečované objekty byla uvažována vozidla o hodnotách 1 000 000 Kč, 250 000 Kč a 50 000 Kč. Zbytková škoda na jednotlivých vozidlech činila 30 000 Kč, 10 000 Kč a 3 000 Kč. Střední doba mezi jednotlivými pokusy o ukradení vozidla byla stanovena 20 let.

Tab. 1 ukazuje ekonomické aspekty aplikace nejlevnější verze elektronického zabezpečovacího systému. Cena tohoto EZS je 4.000 Kč a jeho nepohotovost dosahuje  $10^{-3}$ . Z této nepohotovosti bylo odhadnuto riziko, že vozidlo bude odcizeno přesto, že je na něm

nainstalován EZS. To v praxi znamená, že dojde k souběhu dvou nežádoucích událostí - nefunkci zabezpečovacího systému a zároveň k napadení objektu. Předpokládaná doba technického života alarmu byla uvažována 5 let, poté již bude zařízení morálně zastaralé a předpokládá se jeho celková výměna.

Tab. 2 a tab. 3 jsou modifikací tab. 1, pouze uvažujeme EZS s vyššími pohotovostmi, které jsou ovšem vykoupeny také vyšší pořizovací cenou systému. Zabezpečovací systém, uvažovaný v tab. 2, stojí 7 000 Kč, jeho nepohotovost vzrostla na  $5 \cdot 10^{-4}$ , ovšem bude mít o 1 000 Kč/rok vyšší provozní náklady, než první uvažovaný systém, neboť uvažujeme jeho připojení k PCO. Ve třetím případě uvažujeme zabezpečovací zařízení v ceně 10 000 Kč, jeho nepohotovost byla uvažována  $10^{-4}$ , ale jeho provozní náklady budou ještě o 1 000 Kč/rok vyšší z důvodu komunikace alarmu s majitelem pomocí GSM. Doba do morálního zastarání systému je uvažována 5 let, poté následuje jeho kompletní výměna [3, 4].

Z tab. 1 až 3 je zřejmé, že na vozidlo vyšší střední třídy a na vozidlo luxusní je vhodné nasadit nejlevnější model EZS, zatímco na vůz s hodnotou 50 000 Kč se nevyplatí aplikovat zabezpečovací systém, neboť náklady na tento systém jsou vyšší nebo pouze srovnatelné s hodnotou rizika odcizení vozidla ve finanční vyjádření.

Výpočet předpokládal stoprocentní zapůsobení alarmu a tím zabránění šíření nežádoucí události odcizení vozidla, nebylo bráno v potaz, že vozidlo je možno odcizit i se správně fungujícím zabezpečovacím zařízením, ovšem pouze s alarmem napojeným na GSM síť je ho možné zpětně dopátrat. Tuto skutečnost by bylo možné postihnout jako navýšení zbytkové škody při nepoužití GSM komunikace, jak je uvedeno v tab. 4 až 6.

V těchto modelových případech byla jako negativní faktor uvažována nejen nižší pohotovost levnějších zabezpečovacích systémů, ale také relativně určená zbytková škoda z napadení vozidla, přestože alarm správně zapůsobí. V případě nejlevnějšího zabezpečovacího systému byla uvažována ve výši 20%, ve druhém případě 10% a konečně v případě nejdražšího 4% z ceny zabezpečovaného objektu. Výsledky z těchto modelů již upřednostňují v případě luxusního vozu aplikovat nejspolehlivější zabezpečovací systém, pro vůz střední třídy pak doporučují aplikaci základního modelu alarmu, zatímco pro nejlevnější z uvažovaných vozů nadále nedoporučují nasazení ani jednoho z uvedených modelů elektronického zabezpečovacího systému.

Tab. 1: Vyhodnocení ekonomické výhodnosti aplikace nejméně spolehlivého EZS s absolutním určením zbytkové škody

A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L	E	M
Případ	S [Kč]	S <sub>zasb</sub> [Kč]	t <sub>s0</sub> [rok]	U [10 <sup>-4</sup> ]	P <sub>r</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]	W <sub>r</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]	Q [Kč rok <sup>-1</sup> ]	S <sub>cm</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]	S <sub>z0</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]	S <sub>zm</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]	S <sub>r0</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]	Z <sub>zm</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]
1	1 000 000	30 000	20	10	800,0	1 000,0	1 800,0	50,0	1500	1 550,0	50 000	3 350,0
2	250 000	10 000	20	10	800,0	1 000,0	1 800,0	12,5	500	512,0	12 500	2 312,0
3	50 000	3 000	20	10	800,0	1 000,0	1 800,0	2,5	150	152,4	2 500	1 952,4

Tab. 2: Vyhodnocení ekonomické výhodnosti aplikace průměrně spolehlivého EZS s absolutním určením zbytkové škody

A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L	E	M
Případ	S [Kč]	S <sub>zasb</sub> [Kč]	t <sub>s0</sub> [rok]	U [10 <sup>-4</sup> ]	P <sub>r</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]	W <sub>r</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]	Q [Kč rok <sup>-1</sup> ]	S <sub>cm</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]	S <sub>z0</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]	S <sub>zm</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]	S <sub>r0</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]	Z <sub>zm</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]
1	1 000 000	30 000	20	5	1 400,0	2 000,0	3 400,0	25,0	1500	1 525,0	50 000	4 925,0
2	250 000	10 000	20	5	1 400,0	2 000,0	3 400,0	6,3	500	506,3	12 500	3 906,0
3	50 000	3 000	20	5	1 400,0	2 000,0	3 400,0	1,3	150	151,3	2 500	3 551,2

Tab. 3: Vyhodnocení ekonomické výhodnosti aplikace vysoce spolehlivého EZS s absolutním určením zbytkové škody

A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L	E	M
Případ	S [Kč]	S <sub>zasb</sub> [Kč]	t <sub>s0</sub> [rok]	U [10 <sup>-4</sup> ]	P <sub>r</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]	W <sub>r</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]	Q [Kč rok <sup>-1</sup> ]	S <sub>cm</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]	S <sub>z0</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]	S <sub>zm</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]	S <sub>r0</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]	Z <sub>zm</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]
1	1 000 000	30 000	20	1	2 000,0	3 000,0	5 000,0	5,0	1500	1 505,0	50 000	6 505,0
2	250 000	10 000	20	1	2 000,0	3 000,0	5 000,0	1,3	500	501,3	12 500	5 501,2
3	50 000	3 000	20	1	2 000,0	3 000,0	5 000,0	0,3	150	150,3	2 500	5 150,2



Tab. 4: Vyhodnocení ekonomické výhodnosti aplikace nejméně spolehlivého EZS s relativním určením zbytkové škody

A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L	E	M
Případ	S [Kč]	S <sub>zasb</sub> [Kč]	t <sub>so</sub> [rok]	U [10 <sup>-4</sup> ]	P <sub>r</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]	W <sub>r</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]	Q [Kč rok <sup>-1</sup> ]	S <sub>cm</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]	S <sub>z0</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]	S <sub>zm</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]	S <sub>r0</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]	Z <sub>zm</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]
1	1 000 000	200 000	20	10	800,0	1 000,0	1 800,0	50,0	10000	10 050,0	50 000	11 850,0
2	250 000	50 000	20	10	800,0	1 000,0	1 800,0	12,5	2500	2 510,0	12 500	4 310,0
3	50 000	10 000	20	10	800,0	1 000,0	1 800,0	2,5	500	502,0	2 500	2 302,0

Tab. 5: Vyhodnocení ekonomické výhodnosti aplikace nejméně spolehlivého EZS s relativním určením zbytkové škody

A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L	E	M
Případ	S [Kč]	S <sub>zasb</sub> [Kč]	t <sub>so</sub> [rok]	U [10 <sup>-4</sup> ]	P <sub>r</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]	W <sub>r</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]	Q [Kč rok <sup>-1</sup> ]	S <sub>cm</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]	S <sub>z0</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]	S <sub>zm</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]	S <sub>r0</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]	Z <sub>zm</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]
1	1 000 000	100 000	20	5	1 400,0	2 000,0	3 400,0	25,0	5000	5 025,0	50 000	8 425,0
2	250 000	25 000	20	5	1 400,0	2 000,0	3 400,0	6,3	1250	1 255,6	12 500	4 655,6
3	50 000	5 000	20	5	1 400,0	2 000,0	3 400,0	1,3	250	251,1	2 500	3 651,1

Tab. 6: Vyhodnocení ekonomické výhodnosti aplikace nejméně spolehlivého EZS s relativním určením zbytkové škody

A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L	E	M
Případ	S [Kč]	S <sub>zasb</sub> [Kč]	t <sub>so</sub> [rok]	U [10 <sup>-4</sup> ]	P <sub>r</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]	W <sub>r</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]	Q [Kč rok <sup>-1</sup> ]	S <sub>cm</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]	S <sub>z0</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]	S <sub>zm</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]	S <sub>r0</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]	Z <sub>zm</sub> [Kč rok <sup>-1</sup> ]
1	1 000 000	40 000	20	1	2 000,0	3 000,0	5 000,0	5,0	2000	2 005,0	50 000	7 005,0
2	250 000	10 000	20	1	2 000,0	3 000,0	5 000,0	1,3	500	501,2	12 500	5 501,2
3	50 000	2 000	20	1	2 000,0	3 000,0	5 000,0	0,3	100	100,2	2 500	5 100,2

Z tab. 1 až 3 je zřejmé, že na vozidlo vyšší střední třídy a na vozidlo luxusní je vhodné nasadit nejlevnější model EZS, zatímco na vůz s hodnotou 50 000 Kč se nevyplatí aplikovat zabezpečovací systém, neboť náklady na tento systém jsou vyšší nebo pouze srovnatelné s hodnotou rizika odcizení vozidla ve finanční vyjádření.

Výpočet předpokládá stoprocentní zapůsobení alarmu a tím zabránění šíření nežádoucí události odcizení vozidla, nebylo bráno v potaz, že vozidlo je možno odcizit i se správně fungujícím zabezpečovacím zařízením, ovšem pouze s alarmem napojeným na GSM síť je ho možné zpětně dopátrat. Tuto skutečnost by bylo možné postihnout jako navýšení zbytkové škody při nepoužití GSM komunikace, jak je uvedeno v tab. 4 až 6.

V těchto modelových případech byla jako negativní faktor uvažována nejen nižší pohotovost levnějších zabezpečovacích systémů, ale také relativně určená zbytková škoda z napadení vozidla, přestože alarm správně zapůsobí. V případě nejlevnějšího zabezpečovacího systému byla uvažována ve výši 20%, ve druhém případě 10% a konečně v případě nejdražšího 4% z ceny zabezpečovaného objektu. Výsledky z těchto modelů již upřednostňují v případě luxusního vozu aplikovat nejspolehlivější zabezpečovací systém, pro vůz střední třídy pak doporučují aplikaci základního modelu alarmu, zatímco pro nejlevnější z uvažovaných vozů nadále nedoporučují nasazení ani jednoho z uvedených modelů elektronického zabezpečovacího systému.

## 4. Závěr

V předložené metodice se podává původní kombinace ekonomických aspektů nákladů na zabezpečování objektů proti vzniku škod elektronickým zabezpečovacím systémem a výnosů z instalace a spolehlivostních vlastností takového zabezpečení, které zásadním způsobem ovlivňují efektivnost výnosů zabezpečení. Metodika se dá aplikovat v jednoduchých i relativně složitých případech. Nemusí přitom být vždy nutně plně využito znalostí z oboru spolehlivosti a statistického zpracování dat. Týká se to využívání spolehlivostních dat o elementech EZS a určování jeho nepohotovosti strukturálními metodami (stromy poruch). V zásadě stačí naplnit data do sloupců B, C, D, F a I v uvedených tabulkách adekvátními odhady, které lze získat i expertně.

## Literatura

- [1] Jirman, M.: Ekonomické aspekty spolehlivosti elektronického zabezpečovacího systému, diplomová práce, TU Liberec, Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií, 2005.
- [2] ČSN IEC 50(191) Mezinárodní elektrotechnický slovník - kapitola 191: Spolehlivost a jakost služeb, 1993.
- [3] Jablotron s.r.o., website: <http://www.jablotron.cz/products.php?pid=katalogy>, 2. února 2006.
- [4] Matějček, J.: Katalog spolehlivosti elektrotechnických a elektronických výrobků, Praha, 1985.

# Spolehlivost jako součást úloh hodnocení rizika

*RNDr. Jan Novák, Ph.D.*

*Technická univerzita v Liberci, Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií*

## 1. Úvod

Analýza rizik je nezbytnou součástí posouzení bezpečnosti při výrobě, transportu či skladování nebezpečných látek. Z hodnocení rizika lze zpětně formulovat požadavky na spolehlivost jednotlivých zařízení i celých systémů. Rizikem rozumíme součin pravděpodobnosti vzniku nebezpečné události a jejích následků:

$$R = P * N$$

V tomto příspěvku se zaměřujeme na technická zařízení, kde pravděpodobnost P závisí na spolehlivosti fungování systému. Následky selhání systému mohou být velmi rozmanité. Při jejich hodnocení je třeba nejprve stanovit, které kategorie následků (finanční, zdravotní, environmentální) bereme v úvahu.

Riziko je třeba vyjádřit ve srovnatelných jednotkách. Vzhledem k tomu, že pravděpodobnost je bezrozměrná nebo má rozměr frekvence, znamená to nutnost kvantitativního vyjádření následků. Tento požadavek vede na řešení řady úloh, které se modifikují podle konkrétních podmínek. V našem příspěvku se zaměřujeme na případ úniku nebezpečné látky do okolního prostředí.

## 2. Hodnocení pravděpodobnosti

Vyjádření pravděpodobnosti se zpravidla zaměřuje na ztrátu integrity zařízení obsahující nebezpečnou látku v množství schopném způsobit svými účinky (radiálními, toxickými, mechanickými, ...) újmu svému okolí. Pravděpodobnost ztráty integrity u relativně jednoduchých zařízení jako jsou potrubní trasy, skladovací nádrže a pod. se hodnotí zpravidla na základě dostupných generických dat o selhání těchto zařízení v minulosti. Z pohledu spolehlivosti jde o jednoduchou úlohu. Pro konkrétní provozované zařízení tohoto typu však může být v hodnocení rizik potřeba predikovat pravděpodobnost selhání. Klasickým případem je predikce čerpání životnosti tlakových nádob, potrubních tras tranzitního plynovodu a pod. Zde se pravděpodobnost ztráty integrity vyhodnocuje na základě sledovaného stavu zařízení a používají se speciální metody hodnocení spolehlivosti vyhodnocující výsledky měření úbytku materiálu, velikosti napětí a trhlin, počet provozních cyklů apod.

Ke ztrátě integrity však nemusí dojít pouze v důsledku příčin spočívajících ve vlastním zařízení a jeho provozních režimech. Např. ke ztrátě integrity jaderného či chemického reaktoru může dojít i z titulu technických poruch na ostatních zařízeních zapojených v procesu (ztráta elektrického napájení, porucha řídicího systému), selhání člověka (chyba operátora, vadná údržba) či vlivů okolí (seismicita, povodeň, pád letadla).

Jsou i jiné typy nežádoucích událostí, než je ztráta integrity zařízení. Stejně tak selhání elektrických zařízení, destrukce velkých rotačních strojů, staveb apod. s dopadem na bezpečnost a výrobní ztráty vyžaduje stanovit pravděpodobnost jejich výskytu.

Všechny tyto případy jsou typickými problémy řešenými v oboru spolehlivosti. Analýzy spolehlivosti jsou tak kromě vlastních analýz zjišťujících okolnosti vzniku a důsledků poruch

zdrojem dat o pravděpodobnosti vzniku nebezpečných událostí. S jistou nadsázkou lze konstatovat, že bez analýzy spolehlivosti nelze provést fundovanou analýzu rizika.

### 3. Metodika kvantifikace následků

Vyjádření následků nežádoucí události (poruchy, havárie), spojené s únikem nebezpečné látky, může podle povahy konkrétního případu vyžadovat zohlednění následujících faktorů:

- typ události a pravděpodobnost jejího výskytu,
- vlastnosti látky,
- zranitelnost a prostupnost okolního prostředí,
- šíření negativních vlivů,
- individuální ohrožení člověka a složek životního prostředí,
- společenské ohrožení,
- způsob kvantitativního hodnocení následků.

Již na tomto místě je nutno zdůraznit, že hodnocení, zaměřené pouze na ohrožení lidské populace, zejména pokud jde o smrtelné následky, je podstatně jednodušší než komplexní hodnocení dopadů na ŽP.

### 4. Typ události

Typ události definuje počáteční podmínky pro stanovení následků. Může se jednat o výbuch, požár nebo toxickou expozici. Podle typu výbuchu (např. BLEVE, UVCE), požáru (tryskový požár, požár kaluže apod.) nebo způsobu úniku toxické látky se volí metody (modely) výpočtu šíření nežádoucích vlivů. Lze též vytvářet scénáře případných domino efektů.

Pro hodnocení rizika je nezbytné přiřadit každému v úvahu připadajícímu typu události pravděpodobnost jeho výskytu. Podmíněnou pravděpodobnost havárie lze v některých případech odvodit ze statistiky poruch konkrétních zařízení a systémů. Jindy (např. při hodnocení rizik při transportu nebezpečných látek) jsme odkázáni na celostátní statistiky nehod, ujetých kilometrů, rozsahu dopravní sítě apod. Nehody s větším počtem úmrtí jsou (kromě osobní dopravy) natolik ojedinělé, že pro stanovení jejich četnosti není dostatek relevantních podkladů a pro jejich hodnocení je nutno použít nepřímých údajů a expertních odhadů.

### 5. Vlastnosti látky

Pro hodnocení jsou důležité jak vlastnosti, charakterizující nebezpečnost látky (výbušnost, hořlavost, toxicita), tak vlastnosti fyzikální, případně i chemické a biochemické.

Nebezpečnost a množství uniklé látky rozhodujícím způsobem ovlivňují dosah účinků a rozsah škod. Zničující účinky výbuchů a požárů jsou většinou lokálně ohraničené. Naproti tomu únik toxické látky může ohrozit obyvatelstvo i ve značné vzdálenosti od zdroje nebo způsobit vážné škody na životním prostředí při kontaminaci půdy nebo při průniku do povrchových či podzemních vod.

Je nutno uvážit, že toxicita pro člověka a ekosystémy se u některých látek výrazně liší. R-  
věty poskytují pouze kvalitativní orientaci. Podklady pro kvantifikaci jsou k dispozici  
prakticky jen u letálních následků pro člověka. Při komplexním hodnocení dopadů na ŽP je  
nutno vycházet z kvantitativních údajů (např.  $LC_{50}$ ,  $LD_{50}$ ) pro jednotlivé ohrožené organismy.  
Tyto údaje jsou rozptýleny v různých databázích, které nemají jednotnou strukturu a uváděné  
údaje se často liší. Výběr podkladů a odvození reprezentativních parametrů často představuje  
samostatnou skupinu úloh.

Fyzikální vlastnosti jsou důležité pro posouzení migračního potenciálu látek. Jedná se o  
skupenství látky, bod varu, hustotu, tlak par, rozpustnost ve vodě, ale také např. o rozdělovací  
koeficienty pro sorpční rovnováhu mezi pevnou a kapalnou fází.

## 6. Okolní prostředí

Zranitelnost prostředí vypovídá o závažnosti možných následků kontaminace určitého  
území. Má dvě složky: citlivost a významnost prostředí. Posouzení je nutno provádět pro  
každou složku životního prostředí samostatně.

Citlivostí se rozumí dispozice jednotlivých složek ŽP pro příjem a šíření kontaminace. Pro  
podzemní vody je citlivost dána geologickou stavbou území a hydrogeologickými poměry. U  
tekoucích povrchových vod se jedná o průtok, rychlost proudění, komunikaci s podzemními  
vodami, charakter sedimentů apod. Důležité je zapojení toku do hydrografické sítě. Citlivost  
půd záleží na typu a druhu půdy, její hloubce, pórovitosti, obsahu organického uhlíku, sorpční  
kapacitě pro anorganické látky, hodnotě pH a dalších značně variabilních faktorech.

Pro posouzení potenciálních smrtelných následků pro člověka má rozhodující význam  
ovzduší. Zde jsou důležité klimatické a meteorologické poměry v lokalitě. Roli hraje též  
morfologie terénu a v některých případech i vegetační pokryv a zástavba.

Významnost (hodnota) prostředí ukazuje, jaké hodnoty mohou být ohroženy. Je  
podkladem pro ocenění možných dopadů kontaminace v konkrétní lokalitě. Samostatně je  
třeba hodnotit hustotu lidské populace v území (sídla, průmyslové areály, rekreační oblasti  
aj.). Význam roste s počtem jedinců, kteří by mohli být ohroženi.

## 7. Šíření negativních vlivů

Pro stanovení následků havárií jsou algoritmizovány dosahy exploze a okamžitého  
požáru. Dosah těchto událostí je ovšem omezen zpravidla pouze na desítky až první stovky  
metrů. Popis migračních cest a hmotnostních toků při transportu škodlivin umožňuje  
odhadnout jejich koncentrace v ovzduší, podzemních a povrchových vodách i v půdě i ve  
větších vzdálenostech a delších časových relacích.

Největší nebezpečí představují úniky toxických plynů, které mohou zasáhnout i značně  
velkou oblast. Metodika šíření jednorázové dávky plynné škodliviny v ovzduší je dobře  
propracovaná v modelu PUFF Pasquilla-Gifforda. Model umožňuje výpočet koncentračních  
polí a v návaznosti i expozičních dávek. Vstupními daty do tohoto modelu jsou mj. údaje o  
meteorologické situaci. Pro konkrétní lokalitu je lze získat z větrné růžice, pro řešení úloh  
s mobilními zdroji (transport) je nutno neznalost podrobných dat z dílčích úseků vhodně  
ošetřit. Jsou k dispozici i modely pro kontinuální úniky.

Z příkladu šíření škodlivin v ovzduší je zřejmé, že pravděpodobnost zasažení určitého  
bodu je závislá na šířce kontaminačního mraku, směru větru a dalších atmosférických

podmínkách. Tuto pravděpodobnost je nutno pro konkrétní případy vyčíslit a zahrnout do výpočtu následku.

Relativně méně nebezpečné pro člověka jsou úniky kapalných škodlivin. Jejich šíření v povrchových a podzemních vodách však může vážně poškodit životní prostředí. Pro popis migrace se zde používají složitější modely, vycházející z numerického řešení parciálních diferenciálních rovnic. Výsledky tohoto modelování mají rovněž do jisté míry pravděpodobnostní charakter, který vyplývá z nejistot ve stanovení parametrů, charakterizující fyzikální (resp. chemickou) strukturu prostředí řešené oblasti.

## 8. Individuální ohrožení

Individuálním ohrožením se rozumí pravděpodobný následek pro objekt (osoba, jednotková plocha či objem složky ŽP), který je v daném bodě po danou dobu vystaven účinkům (tlak, teplota, koncentrace) dané škodliviny.

Prvním krokem ke stanovení individuálního ohrožení je stanovení expoziční dávky. Expoziční dávka je obecně funkcí koncentrace a času působení. Pro různé organismy, různé způsoby ovlivnění (tlak, teplota), cesty vstupu látky do organismu (ingesce, inhalace, dermální kontakt aj.) a různé účinky (poškození, zdravotní újma, ohrožení života aj.) existují různé způsoby určení dávky, pro řadu případů však nejsou stanoveny.

Prakticky všechny známé algoritmy výpočtu dávky se týkají člověka. Velké rozdíly jsou v hodnocení akutních a chronických expozičních. Hodnocení akutních expozičních je zaměřeno na závažné následky. Výpočet dávek může být značně složitý. Často závisí na proměnných podmínkách prostředí (např. stav atmosféry, aktuální průtok vodního toku). Stanovení expozičních dávek pro jednotlivé složky ŽP vyžaduje většinou individuální přístup.

Klíčovým krokem pro následné kvantitativní hodnocení je vztah dávka/odpověď. Jen pro některé případy je tento vztah algoritmizován. Pro některé třídy událostí (zranění lidí, poškození rostlin, poškození vodních ekosystémů, znehodnocení půdy a mnoho dalších) nejsou k dispozici informace, vhodné pro kvantitativní posouzení následků definované expozice.

U akutních zátěží je dobře zpracována pravděpodobnost úmrtí jednotlivce při zasažení mrakem toxického plynu pomocí probitových funkcí. Pravděpodobnostní charakter odpovědi vyplývá z různé odolnosti jedinců v populaci.

Letální dávky pro 50% organismů daného druhu nebo hygienické a bezpečnostní předpisy pro průmysl se pro kvantitativní hodnocení následků jiných dávek nehodí, ale poskytují alespoň vodítko pro tvorbu vlastních algoritmů. Např. na kvantifikaci zranění lidí plynou látkou nebo vodní biocenózy únikem kapalné toxické látky do vodního toku.

## 9. Společenské ohrožení

Na rozdíl od individuálního ohrožení se týká konkrétní oblasti. Vztahuje se k početnosti ohrožené populace, k ohroženým plochám či objemům postižených složek ŽP, k délce ovlivněného toku apod. Pro hodnocení skupinového ohrožení je třeba vymezit ovlivněnou oblast a v ní specifikovat ohrožené složky ŽP. Jedná se např. o počet jedinců, jichž se týká individuální ohrožení, o kvalitu a využití podzemních i povrchových vod, kvalitu půdy, vegetace, biotopů, s kvantifikací jejich zastoupení v šetřené lokalitě. Oblast může být případně dále rozčleněna podle stupně potenciálního postižení.

Způsob přechodu od individuálního ke skupinovému ohrožení se liší podle konkrétní situace. Při kontaminaci vodního zdroje se ohrožení jednotlivce vynásobí počtem obyvatel, kteří jsou na daný zdroj odkázáni. Při ovlivnění vodního toku se uvažuje zavlažovaná plocha a konzum rostlinných i živočišných produktů z této plochy zájmovou skupinou obyvatel.

Jiný postup je třeba volit v případech, že se stupeň poškození v ploše oblasti mění, např. při šíření plynné látky v ovzduší nebo při kontaminaci půdy. Individuální ohrožení je stanoveno pro bod a k tomuto bodu je třeba přiřadit odpovídající plochu s jejími atributy. Pak je možno stanovit společenské ohrožení pro jednotlivé dílčí plochy. Hodnocení se provádí v síti bodů a dílčí následky se sčítají.

## 10. Možnosti kvantitativního hodnocení následků

Společenské ohrožení je třeba převést na srovnatelnou úroveň. Různé formy postižení jednotlivých složek ŽP je třeba ohodnotit v kvantitativní nebo semikvantitativní formě a tato dílčí hodnocení integrovat přes zájmovou oblast.

Zpravidla se samostatně vyděluje hodnocení dopadů na lidi. Poměrně dobře lze hodnotit potenciální ztráty na životech, protože úmrtí je jednoznačně definovaný stav. Kritériem hodnocení je počet obětí. Obtížnější je vyjádření zdravotních následků, které zahrnují širokou škálu od krátkodobého léčení až po trvalou invaliditu. Hodnocení má i sociální aspekty, v závažných případech se uplatňuje i postoj veřejnosti k vnímání rizika.

Ještě problematičtější je vyjádření dopadů na životní prostředí. Hodnocení lze provést přidělováním bodů nebo ve finančním vyjádření. Je zřejmé, že klíčovým problémem je zde stanovení vzájemných relací. Absolutní hodnocení se může lišit podle úhlu pohledu.

Dopady některých zátěží se mohou značně větvit. Při kontaminaci vodního toku může dojít k úhynu ryb nebo k jejich genetickému poškození či znehodnocení bioakumulací perzistentních látek a kromě toho i k úhynu či poškození dalších organismů a k dočasnému nebo trvalému negativnímu ovlivnění vodního ekosystému. Navíc může využívání kontaminované vody např. k zalévání zahrádek vést ke vstupu škodlivin do potravního řetězce. Kvantifikace těchto různých dopadů je obtížná jak v náročnosti na potřebná data, tak na výběr možných scénářů i na volbu konkrétní metodiky odhadu chování jednotlivých látek v biotických složkách ŽP.

Pod pojem environmentální újmy zahrnujeme i ohrožení neživé přírody. Patří sem např. vzácné přírodní útvary (kras, skalní města, naleziště fosílií aj.). Lze sem zahrnout i kulturní památky, ale též zdroje surovin, včetně dosud nedostatečně ceněné suroviny budoucnosti – vody. Je možno předpokládat, že se opční hodnota potenciálních (dosud nevyužívaných) zásob podzemních vod bude v budoucnosti zvyšovat. Z toho vyplývá potřeba zohlednit v hodnocení i časové hledisko.

Některé složky ŽP (půda, les, zemědělská produkce, ryby aj.) mají tržní hodnotu, která usnadňuje základní orientaci při vzájemném porovnávání. Tržní hodnota reprezentuje pouze část celkové hodnoty dané složky ŽP. Často významnější část představují netržní statky a služby přírody (čistý vzduch, estetická hodnota krajiny a jiné). Zde význam roste se zvětšováním měřítka – regionální efekt může značně převyšovat součet efektů lokálních. Pro objektivní hodnocení dopadů kontaminace na netržní hodnoty zatím není dostatek údajů.

## 11. Závěr

Výpočet rizika je jednoduchý, jestliže ke kvantifikované újmě lze přiřadit odpovídající pravděpodobnost (např. pravděpodobnost havárie a její následek). Situace je však většinou složitější.

Selhání systému se může projevit různými způsoby, kterým odpovídají různé následky. Každému typu nežádoucí události (případně jednotlivému scénáři) je třeba přiřadit podmíněnou pravděpodobnost jeho výskytu.

Vyjádření následku má většinou též pravděpodobnostní charakter. Vyskytuje se zde jak bezrozměrná pravděpodobnost, spjatá např. s meteorologickou situací či s nejistotami ve stanovení parametrů přírodního prostředí, tak pravděpodobnost podmíněná, vyplývající např. z různé odezvy jedinců stejné populace na negativní podnět.

Pravděpodobné následky se mohou vázat k dílčím jevům jedné události, k dílčím cílovým plochám nebo k jednotlivým projevům negativních účinků na obyvatelstvo či složky životního prostředí. S tím pak souvisí způsob jejich výpočtu i hodnocení rizik.