

MODEL PRO ZMÍRŇOVÁNÍ RIZIK A ZVYŠOVÁNÍ SPOLEHLIVOSTI VODÁRENSKÝCH SOUSTAV

PATTERN FOR RISK REDUCTION AND INCREASING RELIABILITY OF THE WATERWORKS SYSTEMS

Jaroslav ROSA, Josef ŘÍHA
vipros@volny.cz, riha.joe@volny.cz

Došlo 27. 3. 2013, upraveno 14. 7. 2013, přijato 17. 7. 2013.

Dostupné na http://www.population-protection.eu/attachments/046_vol5n2_rosa_riha.pdf.

Abstract

This paper focuses on the security for public water system facilities. Security for public water system facilities is imperative. Virtually every water system is anxious about security. Security measures are needed to help ensure that public water suppliers attain an effective level of security. The whole purpose of decision analysis is to select the best alternative from the set of available alternatives. This can be reached by application of the Multi-Attribute Utility Theory (MAUT) and by using the Analytic Hierarchy Process (AHP), too.

The suggested model and predictive key risk indicators in Table 1 are an important tool within operational risk management and control of risk of water system facilities. The aspects of the pattern for risk reduction and increasing reliability of the waterworks systems are described in the case study with hypothetical variants.

Key words

Analytic hierarchy process, critical infrastructure, multi-attribute utility theory, process modelling, risk analysis, risk modelling, water system facilities.

Příspěvek řeší problém bezpečnosti veřejných vodárenských systémů. Aplikace teorie MAUT a konceptu AHP umožňuje stanovit objektivní pořadí posuzovaných scénářů z hlediska multikriteriální bezpečnosti, opakovaně testovat zmírňující riziková protipatření ve prospěch bezpečnosti systému KI a metodou postupné iterace dospět k optimálnímu řešení. Rozhodovací proces je urychlen řešením v prostředí MS Excel. Výsledné řešení je kontrolováno prostředky ALARP a SCBA. Rizikový procesní model s klíčovými indikátory rizika v tabulce 1 představuje významný prostředek pro objektivizaci krizového řízení, určený pro subjekty státní správy a správce vodárenských systémů. Přispívá ke zvýšení bezpečnosti územních celků v měřítku časoprostoru a potenciální (nepříznivé) synergie.

Práce byla uskutečněna za finanční pomoci projektu MV ČR „Posuzování bezpečnosti prvků infrastruktury a alternativní možnosti zvýšení zabezpečení měst

a obcí pitnou vodou při vzniku živelních pohrom a rozsáhlých provozních havárií“
– MV ČR reg. č. VF20102014009.

Úvod do problému

Současné slabé stránky problematiky vodárenských soustav jsou generovány přežívajícím praktikismem z dřívějších let. Potvrzují to přístupy ke zpracování krizových plánů správců a provozovatelů SZV.

Řada následných velkých hmotných škod na veřejné infrastrukturu vodovodů je způsobena podceňováním reálných rizik, nebo jejich základní neznalostí. Nežádoucí stav je zapříčiněn nebezpečím, které blíže specifikuje scénář nebezpečí; v konečném důsledku generuje riziko. Trvale jsou podceněny možnosti (opatření) územního plánování.

Vodárenství až dosud nezná plánování kontinuity. Plánování kontinuity infrastruktury je proces, který má za úkol navrhnout a implementovat opatření a postupy, které umožní správci/vlastníkovi reagovat na pohromu nebo na některé její nepřijatelné dopady tak, aby kritické činnosti infrastruktury byly zachovány s plánovanou úrovní přerušení. Představuje pro-aktivní plánování preventivních (je-li to možné) a reaktivních opatření na pohromu tak, aby se minimalizovaly ztráty na úroveň, kterou si vlastník i správce systému může dovolit s ohledem na životy lidí.

Silné diskrepance existují mezi způsobem řízení velkých a malých SZV. Především u malých soustav se nežádoucím způsobem uplatňuje důsledek strategicko-politického lobismu na pozadí slibů „sociálně únosných cen“ za vodné a stočné. Nízké ceny neumožňují potřebné inovace a kvalitní údržbu.

Řídit vodárenská zařízení již zdaleka není jen dostatek intuice a praxe, jako tomu bylo v minulém století.

Specifické podmínky oboru vodárenství způsobují poměrně vysoké riziko zranitelnosti a vyřazení z provozu vodárenských soustav na různě dlouhou dobu. Pokud se jedná o subjekty kritické infrastruktury v době krizového stavu, může nedostatek vody způsobit řetězení problémů a vést ke kolapsu služeb a zdravotnických zařízení.

Pro virtuální vodárenský systém výzkumný úkol VF20102014009 identifikoval deset nejvíce rizikových prvků v pořadí: povodí (k danému odběrnému profilu), vodní tok, nádrž, odběrný objekt (povrchová voda), vzdouvací stavba, jímací objekt (podzemní voda), první separační stupeň (sedimentace, čičiče), filtrace a desinfekce, vodojem zemní, vodojem věžový. Každý reálný systém infrastruktury obecně ohrožují hrozby povahy živelní, antropogenní, technické a technologické a odvozené ve smyslu vzniku mimořádné události synergického¹ účinku a domino efektu. Zvýšení bezpečnosti reálného vodárenského systému vyžaduje aplikaci systémového přístupu pro objektivní analýzu specifických podmínek. Robustním kritériem je pro tento případ minimalizace integrovaného rizika pomocí vhodné formalizované metody (modelu).

Stěžejní motiv pro navrhovaný procesní model je vyjádřen v závěru dokumentu „Chápání rizik“, který autorizoval J. Valášek [1] v roce 2008: „*Proces ekonomického rozvoje musí zahrnovat strategii pro zmírňování rizik, ... U mnoha hrozeb platí, že jejich zmírňování se nejlépe realizuje na úrovni společnosti, protože společnost je ohrožena větší měrou, než samotný jednotlivec, a protože ochrana před touto hrozbou často vyžaduje rozsáhlá kolektivní opatření.*“ Citovaný dokument současně poskytuje představu o aktivitách v rámci kategorie „krizového řízení“.

Podle současné úrovně poznání problematiku rizik pokrývá teorie a metodologie operačního výzkumu. Jednak vzniklo tzv. řízení rizika (risk management) [2] v souvislosti s projekty NASA, jednak tzv. rizikové inženýrství (risk engineering) v rámci pojišťovnictví, viz Zurich Insurance Company [3]. Důvodem vzniku těchto aktivit byla složitější společenská infrastruktura, náročnější technologie a rostoucí nároky na řešení problémů (organizace, rozhodování). Systematické uplatňování politiky, postupů a praktik krizového managementu zahrnuje proces řízení rizik (risk management). Předpokládá realizaci posuzování rizik (risk assesment) a regulování rizik (risk control). Proces posuzování rizik je výsledkem analýzy rizik (risk analysis) a hodnocení rizik (risk evaluation). Analýza rizik představuje systematické posouzení dostupných informací k identifikaci hrozeb (hazard identification) a k odhadu rizika (risk estimation) z hlediska životů a zdraví obyvatelstva, majetkových hodnot a životního prostředí.

Procesní modelování je nedílnou součástí procesní analýzy, která slouží k detailní identifikaci a specifikaci procesů, jejich struktury, vstupů, výstupů, omezení apod. Cílem výzkumu je poskytnout snadno přístupný nástroj (doporučený předpis) pro odhad rizik, usnadnění komunikace mezi všemi zainteresovanými subjekty (podpora standardizovaných procesů), zmírnění dopadu integrovaného rizika pro posuzovaný systém KI. Principiálně jde o podpůrný prostředek rozhodování DSS, opřené o základy operačního výzkumu, axiomatickou teorii kardinálního užitku MAUT, respektující uzance analytického hierarchického procesu AHP.

Řešení modelu pro zmírňování rizik a zvyšování spolehlivosti vodárenských soustav

Ověřovaný procesní model tvoří součást systému rozhodování ve prospěch identifikace, výběru a managementu objektů, produktů a poskytovaných služeb (implicitně subjektů) kritické infrastruktury na území ČR, se zvláštním zřetelem na zabezpečení měst a obcí pitnou vodou. Předmětem nástroje je zvýšení bezpečnosti obyvatelstva, usnadnění činnosti veřejné správy a zúčastněných akτέρů v řízené péči (bezpečnosti) kritické infrastruktury. Je určen HZS ČR, HZS krajů a provozovatelům vodárenských zařízení, pracovníkům státní a municipální správy, kteří se zabývají nouzovým a krizovým plánováním, rizikovým managementem v rámci své územní a pracovní působnosti.

Model patří mezi univerzální typy analytických metod [4] založených na brainstormingu²; zahrnuje následující aktivity:

- Detekci nebezpečí pro posuzovaný systém KI nebo region pomocí brainstormingu a za tímto účelem sestaveného katalogu rizikových kritérií (indikátorů rizika).
- Ohodnocení nebezpečí pomocí škály velikosti možných následků. Ohodnocená hrozba se stává pro potřeby této analýzy rizikem v deterministickém formátu. Jinými slovy jde o konstrukci stupnice pro odhad spolehlivosti a bezpečnosti systému KI. Hodnocení je expertní, a proto není verifikovatelné.
- Určení hodnoty souhrnné funkce užítku individuálního scénáře (varianty projektu) pomocí teorie MAUT, rizikových kritérií a konceptu AHP.
- Hledání přijatelného (optimálního) řešení metodou postupných iterací a zmírňujících proti-rizikových opatření pomocí scénářů pro diferencovanou spolehlivost systému KI.
- Korigování výsledků analýzy podle principů ALARP a SCBA.

Vlastní metodika představuje čtyři postupné kroky řešení individuálně pro každý scénář (variantu projektu). Algoritmus modelu vychází z předpokladu, že hodnota souhrnné funkce užítku U_i pro určitý scénář je dána hodnotou mnoha rozměrného vektoru U_i podle rovnice

$$U_i = \sum_{j=1}^n U_j w_j^{(N)}, \quad (1)$$

kde U_i je souhrnná funkce užítku scénáře (varianty projektu);
 $w_j^{(N)}$ – normovaná relativní důležitost (váha) kritéria;
 i – index scénáře pro $i = 1, 2, \dots, m$;
 j – index kritéria pro $j = 1, 2, \dots, n$.

Veličina U_j pro scénář (variantu projektu) V_i vyjadřuje dílčí funkci užítku podle vztahu

$$U_j = f_j(P_j), \quad (2)$$

kde P_j je parametr či ukazatel kritéria j a současně očekávaný důsledek (újma).

Uvedený aditivní tvar rovn. (1) lze použít pouze v tom případě, že pro množinu w_j platí

$$0 \leq w_j^{(N)} \leq 1 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

a současně

$$\sum_{j=1}^n w_j^{(N)} = 1. \quad (4)$$

Podle [5] se předpokládá dodržení podmínek preferenční a užítkově nezávislosti³ ukazatelů kritérií (princip disjunkce) a dodržení podmínky, že pro celý soubor posuzovaných variant V_j je

$$w_j = \text{konstanta} . \quad (5)$$

Při výpočtu musí být všechny používané veličiny normalizovány⁴ [5].

Aplikace konceptu AHP umožňuje stanovit objektivní pořadí posuzovaných scénářů z hlediska multikriteriální bezpečnosti, opakovaně testovat zmírňující riziková protipatření ve prospěch bezpečnosti systému KI a metodou postupné iterace dospět k optimálnímu řešení.

□ Krok 1:

První krok představuje generování soustavy kritérií a ukazatelů kritérií. Současně jde o stanovení jejich pořadí (constructing hierarchy). Při výběru kritérií je zřejmé, že jsou ve vzájemné interakci a z hlediska důležitosti nejsou rovnocenná.

Pro případ vodárenské soustavy byla věnována pozornost indikátorům rizika, které navozují hrozbu vzniku MU v důsledku nepříznivého synergického účinku a domino efektu. Jejich přehled je uveden v tab. 1.

□ Krok 2:

Druhý krok tvoří jádro procesu AHP. Spočívá v alokaci relativní důležitosti (váhy) pro zvolená kritéria. Váha je určována metodou postupného párového porovnání každého s každým. Důležitost vzájemně porovnávaných kritérií je subjektivně kvantifikována podle stupnice v tab. 2, jak uvedl L. T. Saaty [6], [7], [8], otec konceptu AHP. Metodu párového porovnávání kritérií obohatil o subjektivní měření vzájemné „vzdálenosti“ kritérií. Proces hierarchizace cílů a párového porovnávání se odlišuje od známého jednoduchého přiřazování čísel k alternativám podle jejich pořadí.

S uvážením reciprocity se hodnoty důležitosti pohybují v rozmezí 1/9 až 9. Počáteční tabulkové uspořádání numerických hodnot důležitosti (z tab. 2) je převedeno do maticového formátu s normovanými hodnotami zjištěných preferencí (do tab. 3). Řádkové součty v této matici umožňují výpočet normované váhy každého kritéria.

Za předpokladu, že máme celkem n kritérií, tak výsledek párového porovnání lze uspořádat do formátu jednotkové čtvercové matice o rozměru $n \times n$, viz tab. 3. Pro vyplnění matice je třeba $(n^2 - n)/2$ hodnot. Expert poskytne hodnoty pouze pro buňky v horní části matice (nad diagonálou). Buňky na diagonále mají hodnotu rovnou 1, hodnoty buněk pod diagonálou vyjadřují reciprocitu horních buněk (automatický výpočet). V tomto případě matice nezohledňuje princip *transitivity*⁵ a požadavek *konzistence* [9]. Pro čtvercovou matici musí platit $a_{ij} = 1/a_{ji}$ pro $a_{ii} = 1$ a $i \neq j$, tzn. *reciprocita* pro všechna i . Způsob dosažení konzistence uvádí příručka [10]. Výsledkem druhého kroku řešení jsou numerické hodnoty normované váhy $w^{(N)}$ pro všechna kritéria.

Tabulka 1

Indikátory rizika (IR) možného vzniku mimořádné události v rámci systému zásobování vodou (SZV) se zvláštním zřetelem na synergické účinky a domino efekty (s komentářem)

IR(1)	<p>Riziko stavebně-technologické a projekční</p> <p>Zdrojem rizika (nebezpečí) je např. neúplný hydrologický a hydrogeologický průzkum, nekvalifikované projekční řešení; důsledkem je porušení zákonné povinnosti (zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu) a speciální legislativy, viz působnosti např. vodoprávního úřadu ORP jako stavebního úřadu (zákon č. 274/2001 Sb.).</p>
IR(2)	<p>Riziko vnější vč. vyšší moci (přírodní pohroma)</p> <p>Zdrojem rizika (nebezpečí) jsou mimořádně nevhodné regionální podmínky, které obecně způsobují zvýšenou zranitelnost systému a zpochybňují jeho spolehlivost. Např. zvýšená seismická aktivita a důlní ořesy, poddolované území, svahová nestabilita a časté sesuvy, aktivní záplavové území, mrazová kotlina, potrubí a armatury na pokraji fyzické životnosti apod. V dlouhodobém časovém horizontu je třeba uvážit naturální riziko z důvodu hydrologického dopadu klimatické změny jako přírodní pohromy na disponibilní vodní zdroj.</p>
IR(3)	<p>Riziko operační vč. bezpečnosti a lidského činitele</p> <p>Jde o sociální typ rizika, jehož zdrojem je soubor mnoha skutečností. Příčinou chybování LC může být špatná reflexe rizik u pracovníků obsluhy, nedostatečná kvalifikace, trénovanost, osobnostní a zdravotní předpoklady, nevybavení obsluhy zařízení a velínů jasnými a jednoznačnými instrukcemi pro výkon pracovních činností, nesprávná informovanost, popř. přetíženost obsluhy aj. Selhává zálohování (redundance) LC další osobou. Člověk je ve většině případů rozhodující příčinou vzniku a průběhu závažné havárie (zákon č. 353/1999).</p>
IR(4)	<p>Riziko vyvolaných nákladů na potřebná zmírňující a kompenzační opatření</p> <p>Z obecného principu řízení rizika vyplývá, že riziko je nutné snižovat až na úroveň, kdy výdaje na snížení rizika se stávají neúměrnými ve srovnání s příslušným omezením rizika. Tento požadavek se definuje jako princip ALARP (As Low As Reasonably Practicable) – riziko se požaduje snížit na úroveň tak nízkou, jak je rozumně dosažitelné. Jinými slovy jde o určení hranice pro přijatelnost rizika. Rozvaha se týká výhradně prvků infrastruktury (investice v rámci veřejného sektoru). Dodržení principu ALARP přikazuje domácí legislativa, viz MŽP ČR (2006): METODICKÝ POKYN odboru environmentálních rizik Ministerstva životního prostředí pro zpracování zprávy o posouzení bezpečnostní zprávy podle zákona č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií.</p>

IR(5)	<p>Riziko inhibičního (blokačního) efektu</p> <p>Zdrojem rizika (nebezpečí) může být bezprecedentní situace, důsledek analýzy rizika z neúplných dat, sezónní přemnožení toxických sinic v kombinaci se sníženou vodností zdroje surové vody aj. Příbuzný indikátor je IR(2).</p>
IR(6)	<p>Riziko kumulativního a synergického efektu</p> <p>Pojmy „<i>kumulativní a synergické účinky</i>“ podle dokumentu SEVESO II byly pro oblast bezpečnostního rizika nahrazeny výrazem „<i>domino-efekt</i>“ (<i>Domino Effect</i>), tzn. pojmy se překrývají. Zdrojem rizika (nebezpečí) může být souběh hrozby důsledků povodně v aktivní záplavové zóně a hrozby kontaminace upravené vody přívalovou vodou. Jinou prvotní příčinou může být upřednostňování ochrany přírody před zájmy obyvatel, nebo srážkovou deficit a stochasticky nevhodný výskyt srážek v regionu (hrozba sucha).</p>
IR(7)	<p>Riziko kaskádového efektu v důsledku hrozby selhání centrální dodávky elektřiny</p> <p>„<i>Kaskádový efekt</i>“ selhání je situace, kdy porucha v jedné infrastruktuře způsobí poruchu ve druhé infrastruktuře. Zdrojem rizika (nebezpečí) je situace, kdy vodárenská soustava nemá náhradní (mobilní) zdroj elektrické energie s dostatečným výkonem. Nebezpečí je zmírněno v případě gravitačního rozvodu.</p>
IR(8)	<p>Riziko domino efektu (nebo dtto „kumulativních a synergických účinků“ podle EIA/SEA)</p> <p>„<i>Domino efekt</i>“ je možnost zvýšení pravděpodobnosti vzniku nebo velikosti dopadů závažné havárie v důsledku vzájemné blízkosti objektů nebo zařízení nebo skupiny objektů nebo zařízení a umístění nebezpečných látek (citace podle SEVESO II). Zpravidla je třeba zabránit vzniku domino efektu, rozšíření havárie a dalšímu šíření destrukce např. pomocí bezodkladné demolice narušených staveb, odstředěním překážek při záplavách, odstraněním bahenních nánosů, apod.</p>
IR(9)	<p>Riziko eskalujícího efektu v důsledku hrozby kontaminace surové vody</p> <p>„<i>Eskalující efekt</i>“ selhání je situace, kdy porucha v jedné infrastruktuře nezávisle zhoršuje poruchu ve druhé infrastruktuře (tzn. čas na obnovu funkce a renovaci narůstá). Odebíraná voda musí vyhovovat normě ČSN 75 7214 Jakost vod. Surová voda pro úpravu na pitnou vodu. Příbuzný indikátor je IR(6).</p>
IR(10)	<p>Riziko strategické v důsledku výpadku telekomunikační sítě</p> <p>Telekomunikační sítě jsou linkové a rádiové sítě zabezpečující přenos povelů z vyznamovací center pro aktivaci koncových prvků varování a vyznamování. Zdrojem rizika (nebezpečí) je nedostatečná redundance sítě pro případ totálního výpadku spojení.</p>

IR(11)	<p>Riziko technické náročnosti a proveditelnosti opravy poruchy</p> <p>Zdrojem rizika (nebezpečí) je pravděpodobnost zpoždění k požadovanému časovému horizontu opravy poruchy při respektování n vlivů podle vztahu</p> $p_S = \prod_{R=1}^n [1 - p(R)],$ <p>kde:</p> <p>p_S je úhrnná pravděpodobnost realizace opravy poruchy, $p(R)$ – pravděpodobnost, že dojde ke vzniku potenciálního rizika z R-tého důvodu (tj. technické náročnosti a proveditelnosti opravy poruchy), $[1 - p(R)]$ – pravděpodobnost, že nedojde ke vzniku potenciálního rizika z R-tého důvodu.</p> <p>Expertní odhad musí zohlednit citlivá místa z hlediska provozní rizikové analýzy, např. vyšší riziko zranitelnosti při křížení sítí (shybka) a z hlediska sezónního provozního rizika při opravě (neprůjezdny terén).</p>
IR(12)	<p>Riziko vyplývající z nedostatečného zajištění havarijní připravenosti</p> <p>Zdrojem rizika (nebezpečí) je např. nejasná součinnost mezi vlastníky a provozovateli vodovodu a složkami krizového řízení; absence nebo nedostatečný řídicí a monitorovací systém distribuce vody, absence pohotovostní akumulace pitné vody, nezajištěný zastupitelný zdroj vody aj.</p>
IR(13)	<p>Riziko chybných technologií, měřidel a souvisejících služeb</p> <p>Zdrojem rizika (nebezpečí) může být např. nekompatibilní technologie, technologická nedostatečnost, vady, nebo neúplná znalost skutečné hydraulické účinnosti systému s ohledem na jeho fyzické opotřebení, skryté úniky vody.</p>
IR(14)	<p>Riziko vyplývající z nedostatečného zajištění krizového plánu pro nouzové zásobování pitnou vodou</p> <p>Zdrojem rizika (nebezpečí) je totální absence alternativního řešení krizové situace, viz možnosti:</p> <ul style="list-style-type: none"> • propojení sítě na jiný zdroj vody, • omezení odběru vody ze sítě vyhlášením regulačních stupňů, • instalace náhradních (rezervních) zdrojů, • dovoz vody do vodojemu, • rozvoz vody do míst spotřeby cisternami, případně dovoz balené vody, • využití náhradní technologické úpravy vody. <p>Podle: MZe ČR (2008): Plán rozvoje vodovodů a kanalizací pro území ČR.</p>

Poznámka k tabulce 1:

Vodohospodářům známé projekty TECHNEAU a WaterRisk pracují s pojmem „nežádoucí stav NS“ (undesired event), který lze pokládat za shodný s pojmem „mimořádná událost MU“ podle domácí legislativy. Formálně nežádoucí stav je stav, kdy objekt ztratil svou požadovanou vlastnost nebo schopnost plnit požadovanou funkci. Mimořádnou událostí podle §2 písm. b) zákona č. 239/2000 Sb. o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů je škodlivé působení sil a jevů vyvolaných činností člověka, přírodními vlivy, a také havárie, které ohrožují život, zdraví, majetek nebo životní prostředí a vyžadují provedení záchranných a likvidačních prací.

□ **Krok 3:**

Třetí krok spočívá v určení hodnot velikosti dopadu pomocí verbálně numerické stupnice na scénář (variantu projektu). Jinými slovy jde o konstrukci stupnice pro posouzení závažnosti hrozby dopadu události a odhad spolehlivosti a bezpečnosti systému KI. Verbálně numerická stupnice pro rozměr dopadu je pětistupňová s rozdílnou vzdáleností mezi jednotlivými stupni v přibližném rozmezí 0 až 1. Pro daný případ je použita škála velikosti možných negativních následků [9, s. 49] ve smyslu potenciálního dopadu a očekávaného rizika s okrajovou nenulovou hodnotou v tab. 4.

Výsledkem třetího kroku je generovaná verbálně numerická stupnice pro expertní odhad dopadu a rizika (s nutnou následnou úpravou zohledňující specifické podmínky zadání).

Tabulka 2
Důležitost a význam kritéria

Důležitost	Popis porovnání kritérií (L.T. Saaty)
1	Rovnocennost porovnávaných kritérií.
3	Mírná nadřazenost prvního kritéria nad druhým.
5	Silná nadřazenost prvního kritéria nad druhým.
7	Velmi silná nadřazenost prvního kritéria nad druhým.
9	Absolutní nadřazenost (max. možná) prvního kritéria nad druhým.

Poznámka:

Připouští se možnost použití mezilehlých hodnot, tzn. 2, 4, 6, 8.

Tabulka 3
Matice pro posouzení důležitosti kritérií

Kritérium	1	2	. . .	n
1	1	a_{12}	. . .	a_{1n}
2	a_{21}	1	. . .	a_{2n}
.	.	.		.
.	.	.		.
n	a_{n1}	a_{n2}	. . .	1

Tabulka 4

Verbálně numerická stupnice pro posouzení závažnosti hrozby a vlivu poruchy [9, s. 49]

Stupeň	Dopad události
0,05	Velmi malý – zanedbatelný
0,20	Malý
0,40	Střední
0,60	Velký
0,80	Velmi velký – kritický

□ Krok 4:

V rámci čtvrtého kroku je vypočítán celkový stupeň (total grade) užitku individuálního scénáře (varianty projektu) podle rovn. (1) a rovn. (2). Nejlepší řešení definuje výstup s nejnižší hodnotou souhrnné funkce užitku U_i . Dílčí funkce užitku podle rovn. 2 se v tomto modelu redukuje na přímé dosazení veličiny $U_j = (P_j)$ podle expertního deterministického odhadu. Tím odpadá problém generování dílčích funkcí užitku a konstrukce vyhodnocovacích křivek (rating curves) podle [12]. Přijatelnost indikovaného řešení pro závěrečný rozhodovací proces musí být kriticky korigována podle principů ALARP a SCBA. Uvedená metodologie představuje využití teorie MAUT a paradigmatu AHP pro posouzení všech scénářů (variant projektu). Praktický způsob aplikace modelu je uveden v další části textu.

Korekce výsledků pro rozhodovací proces podle principů ALARP a SCBA

Z obecného principu řízení rizika vyplývá, že riziko je nutné snižovat až na úroveň, kdy výdaje na snížení rizika se stávají neúměrnými ve srovnání s příslušným omezením rizika. Tento požadavek se v odborných publikacích definuje jako princip ALARP – riziko se požaduje snížit na úroveň tak nízkou, jak je rozumně dosažitelné. Pro stanovení efektivnosti vynaložených opatření se aplikuje analýza poměru vynaložených nákladů k výslednému přínosu CBA. Dodržení principu ALARP přikazuje domácí legislativa z roku 2006 [13].

CBA neboli poměřování nákladů ku prospěchu (užitku), česky také „prospěchová analýza“ nebo „analýza nákladů a užitků“, je typem poměrového přístupu v rozhodovacích procesech. Všechny přínosy, užitky, pozitiva se shromáždí na jedné straně rovnice nebo pomyslné váhy a všechny náklady,

nevýhody a negativa na straně druhé. Vyhrává ta těžší strana pomyslné váhy. Pro posouzení KI je vhodnější aplikovat hybrid metody CBA tzv. společenskou analýzu nákladů a užitku SCBA. Společenská analýza nákladů a přínosů je nástroj usnadňující zvážení všech současných a budoucích společenských výhod a nevýhod různých variant. V originále výraz "social" znamená, že náklady a přínosy jsou analyzovány a hodnoceny z pohledu společnosti jako celku. Důraz je kladen nejen na náklady a přínosy, které lze vyjádřit v penězích, ale také na náklady a přínosy, které nejsou (nebo dosud nejsou) vyjádřeny finančně a týkají se dalších záležitostí, které společnost oceňuje, jako je životní prostředí, bezpečnost a příroda. Jinými slovy podle WHO [14] u kategorie SCBA⁶ jde o propracovaný teoretický a metodický nástroj pro hodnocení investičních a neinvestičních projektů (sukromých i veřejných) z celospolečenského hlediska.

Princip ALARP doporučuje, aby se riziko snížilo, „až když je to rozumně možné“, čili na úroveň, která je „nejnižší rozumně možná“. Podle tohoto principu se předpokládá, že riziko spadá do jedné ze tří oblastí klasifikovaných jako „nepřijatelné“, „přijatelné“ nebo „všeobecně přijatelné“.

MS EXCEL software a virtuální DEMO-příklad

Elektronický výpočet umožňuje výrazně zrychlit proces AHP. K tomu účelu byl vyvinut bezpočet pomocných softwarů. Nákup těchto programů je však nákladný, viz program Expert Choice (komerční licence je dosažitelná za 495,- US \$, viz odkaz <http://expert-choice.software.informer.com/>). Z tohoto důvodu je doporučeno využít schopností běžně dosažitelného programu MS Excel. Náročnější způsob aplikace MS Excel je možný pomocí implementace nadstavby MS Excel add-in DAME (Decision Analysis Module for Excel), viz [18].

Praktické řešení navrhovaného modelu je demonstrováno pomocí virtuálního DEMO-příkladu v prostředí MS Excel. Úloha je řešena pro základní 4 typy scénářů v tab. 5 a na základě čtyř blíže nespecifikovaných kritérií, jejichž důležitost byla posouzena verbálně numerickou stupnicí podle tab. 2. V souladu s popsáním 1. a 2. krokem metodiky byla stanovena relativní důležitost kritérií na obr. 1. Obdobně podle popisu 3. a 4. kroku byl proveden výpočet hodnot rizika scénářů (variant projektu) na obr. 2. Pořadí scénářů určuje zjištěná hodnota U_i v tab. 6. Výsledek první iterace logicky vystihuje charakter vlastností posuzovaných scénářů, viz počáteční hierarchizace veličin U_i . Vizualizaci míry užitku a rizika scénářů po první iteraci vyjadřuje obr. 3. Nicméně přijatelnost indikovaného řešení pro výsledný rozhodovací proces musí být kriticky korigována a hledána citlivostní analýzou⁸, viz [9], opakovanou iterací podle principů ALARP a SCBA, postupným vkládáním zmírňujících bezpečnostních opatření. Optimálně by se měly celkové náklady přibližovat scénáři typu D (tj. scénář na hranici přijatelného rizika pro uživatele/majitele systému).

Tabulka 5
Charakteristika posuzovaných scénářů (variant projektu)

Scénář	Charakteristika scénáře
A	Scénář nejvyšší možné spolehlivosti systému Systémový pohled na zranitelnost systému v důsledku perturbace ⁷ (rušivé změny) je maximálně příznivý. Chráněný zájem společnosti je zajištěn v maximální možné míře. Náklady na provoz, zmírňující a kompenzační opatření jsou maximální.
B	Scénář nejnižší spolehlivosti systému Systémový pohled na zranitelnost systému v důsledku perturbace je silně negativní. Chráněný zájem společnosti je zajištěn nedostatečně. Náklady na provoz, zmírňující a kompenzační opatření jsou minimální.
C	Scénář současného stavu využívání systému (nulová varianta) Systémový pohled na zranitelnost systému v důsledku perturbace je nejasný. Chráněný zájem společnosti je zajištěn podle současného trendu. Náklady na provoz, zmírňující a kompenzační opatření jsou omezené.
D	Scénář na hranici přijatelného rizika pro uživatele systému (podle zákona č. 59/2006 Sb.) Systémový pohled na zranitelnost systému v důsledku perturbace je uspokojivý. Chráněný zájem společnosti je zajištěn přijatelně. Náklady na provoz, zmírňující a kompenzační opatření jsou dostatečné.

Tabulka 6
Výsledné pořadí posuzovaných scénářů (variant projektu) po provedeném prvním screeningu a iteraci

Pořadí	U_i	Scénář	Charakteristika scénáře
1	0,273	A	Scénář nejvyšší možné spolehlivosti systému
2	0,388	D	Scénář na hranici přijatelného rizika pro uživatele systému
3	0,486	C	Scénář současného stavu využívání systému (nulová varianta)
4	0,510	B	Scénář nejnižší spolehlivosti systému

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Katalog kritérií							
2								
3	Kritérium	I	II	III	IV			
4	I	1,000	3,000	5,000	3,000			
5	II	0,333	1,000	2,000	3,000			
6	III	0,200	0,500	1,000	9,000			
7	IV	0,333	0,333	0,111	1,000			
8	SUMA	1,867	4,833	8,111	16,000			
9								
10	Důležitost	Popis porovnání kritérií (L.T. Saaty)						
11	1	Rovnocennost porovnávaných kritérií.						
12	3	Mírná nadřazenost prvního kritéria nad druhým.						
13	5	Silná nadřazenost prvního kritéria nad druhým.						
14	7	Velmi silná nadřazenost prvního kritéria nad druhým.						
15	9	Absolutní nadřazenost (max. možná) prvního kritéria nad druhým.						
16	Poznámka	Připouští se možnost použití mezilehlých hodnot, tzn. 2, 4, 6, 8.						
17								
18								
19	Matice normalizovaných hodnot							
20								
21	Kritérium	I	II	III	IV	SUMA	VÁHA	
22	I	0,536	0,621	0,616	0,188	1,960	0,490	
23	II	0,179	0,207	0,247	0,188	0,820	0,205	
24	III	0,107	0,103	0,123	0,563	0,896	0,224	
25	IV	0,179	0,069	0,014	0,063	0,324	0,081	
26	SUMA					4,000	1,000	
27								

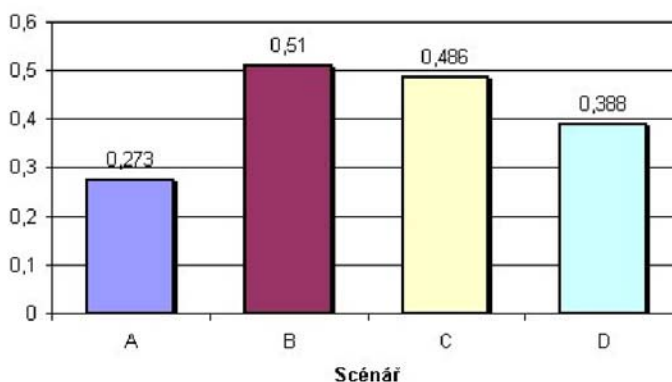
Obr. 1

Okno MS Excel pro výpočet normované váhy kritéria metodou AHV

10							
11	Scénáře - Varianty projektu						
12	A	Scénář nejvyšší možné spolehlivosti systému					
13	B	Scénář nejnižší spolehlivosti systému					
14	C	Scénář současného stavu využívání systému (nulová varianta)					
15	D	Scénář na hranici přijatelného rizika pro uživatele systému					
16							
17	Verbálně numerická stupnice						
18	Dopad události je velmi malý (zanedbatelný) - 0,05; malý - 0,2; střední - 0,4;						
19	velký - 0,6; velmi velký (kritický) - 0,8						
20							
21	Expertní posouzení scénářů						
22	Kritérium	I	II	III	IV		
23	SCÉNÁŘ						
24	A	0,05	0,4	0,6	0,4		
25	B	0,6	0,6	0,2	0,6		
26	C	0,4	0,6	0,6	0,4		
27	D	0,2	0,6	0,6	0,4		
28							
29	Multikriteriální skóre						
30	Kritérium	I	II	III	IV	SUMA	Pořadí
31	Váha	0,490	0,205	0,224	0,081		
32	SCÉNÁŘ						
33	A	0,025	0,082	0,134	0,032	0,273	1
34	B	0,294	0,123	0,045	0,049	0,510	4
35	C	0,196	0,123	0,134	0,032	0,486	3
36	D	0,098	0,123	0,134	0,032	0,388	2
37							

Obr. 2

Okno MS Excel pro výpočet rizika scénářů (varianty projektu)



Obr. 3

Porovnání míry užítku a rizika scénářů pomocí metody AHP po první iteraci

Závěr

Rizikový procesní model pro zmírnění hrozby ohrožených prvků a služeb KI poskytuje snadno dostupný nástroj pro detekci rizik obecně a pro vodárenské soustavy zvláště.

Na základě komparativního porovnání současných poznatků spočívá novost navržené metodiky v zavedení sofistikované množiny indexů rizika (IR), které integrovaným způsobem odhalují kritičnost situace soustavy a možnost vzniku MU následkem dominového efektu. Uvažují se důvody endogenní a exogenní, technické či technologické i sociální. Výsledkem je generovaný scénář, který poskytuje informaci pro nezbytná preventivní nebo zmírňující opatření. Vyhodnocení používá standardní postup rizikové analýzy, rizikovou matici s nelineární verbálně numerickou stupnicí pro parametr dopadu a pravděpodobnost (periodicitu).

Vychází z teorie MAUT, přejímá konzistentní metodologii AHP, využívá hierarchizace hodnoceného problému a párového porovnávání k numerické kvantifikaci kvalitativních hodnocení. Výsledkem hodnocení je přiřazení vah w_i všem hodnoceným prvkům, pomocí nichž lze prvky uspořádat z hlediska jejich důležitosti a významu. I v domácí praxi se uznává [19], že AHP je nástroj vhodný pro podporu rozhodování na všech stupních řízení. Koncept párového hodnocení byl domácím odborníkům zpřístupněn již v roce 1967 díky překladu práce [20] (obecně známý Fullerův trojúhelník).

Rizikový procesní model představuje významný prostředek pro objektivizaci krizového řízení, určený pro subjekty státní správy a majitele/správce vodárenských systémů. Umožňuje standardizaci PKP s vyšší vypovídací schopností incidence včetně dominového efektu a naznačuje základ pro systematickou počítačovou podporu pro zvýšení bezpečnosti a spolehlivosti funkce systému zásobování pitnou vodou. Tím má rozměr ekonomický i politický. Provozovatelům a majitelům SZV snižuje náklady. Bezpečný a spolehlivý provoz zvyšuje důvěru veřejnosti ve státní správu. Aplikace modelu má vyvolat diskusi některých základních předpokladů spojených s vodohospodářskou politikou na tomto úseku.

Vytýčení směrů dalšího potřebného bádání pro zvýšení bezpečnosti a spolehlivosti SZV bude vhodné nastavit na vyšší sofistikovanou úroveň. Prioritou je zaměření na potenciální důsledky klimatické změny, protože v bilanční vodohospodářské rovnici se v časové ose změni parametry pro nabídku i poptávku. Zároveň je urgentní potřeba odstranit fatální gap v systému managementu bezpečnosti dodavatelských řetězců SCM v ČR – mezinárodní akcent zesiluje ohrožení potravního řetězce, protože do něho masivně vstupuje pitná voda. V teoretické oblasti půjde o implementaci současných odborných poznatků pro plánování kontinuity systémů vodárenských soustav podle konceptu COOP.

Résumé

Security for public water system facilities is imperative. Virtually every water system is anxious about security. While no water system can be absolutely free from threats, it can be prepared. Security measures are needed to help ensure

that public water suppliers attain an effective level of security. The fault-tolerant system environment ensures protection against system failure and helps to increase productivity to a maximum.

The water sector has identified five general threat themes for drinking water facilities. These include: chemical, biological, or radiological (CBR) contamination attacks; vehicle-borne improvised explosive device (IED) attacks on infrastructure; cyber attacks on instrumentation and control systems; chemical attacks (e.g., combustible contaminant in a wastewater collection system); and natural disasters.

This paper addresses the topic of risk-oriented process management. The focus of the current stage is on the development of risk-aware process modelling techniques, which substantially increase the capabilities of existing approaches in terms of risk modelling. The whole purpose of decision analysis is to select the best alternative from the set of available alternatives. This can be reached by application of the Multi-Attribute Utility Theory (MAUT) and by using the Analytic Hierarchy Process (AHP), too.

The foundation of MAUT is the use of utility functions. Utility functions transform diverse criteria to one common, dimensionless scale (0 to 1) known as the multi-attribute "utility". Once utility functions are created an alternative's raw data (objective) or the analyst's beliefs (subjective) can be converted to utility scores. Utility graphs are created based on the data for each criterion. Every decision criterion has a utility function created for it. The utility functions transform an alternative's raw score (i.e. dimensioned – m, kg, m³/s, etc.) to a dimensionless utility score, between 0 and 1. The utility scores are weighted by multiplying the utility score by the weight of the decision criterion. The total scores indicate the ranking for the alternatives.

A step-by-step method for facilitating the decision-making process consists from the four steps, i.e.

- (1) The first step is to develop criteria hierarchy.
- (2) The second step consists of allocation weights to previously chosen criteria (the weighted score methodology; so-called pair-wise comparison).
- (3) The third step is to assign numerical values to the dimensions on our evaluation scale (a matrix to evaluate criterion importance). It is common to use dimensions, such as poor, fair, good, very good and excellent.
- (4) The fourth step provides the total grade of the project.

To identify the preferred alternative multiply each normalized alternative score by the corresponding normalized criterion weight, and sum the results for all of an alternatives criteria. The preferred alternative will have the highest total score.

The key aspects of the pattern for risk reduction and increasing reliability of the waterworks systems are described in the case study with hypothetical variants.

The suggested risk-based decision support system cannot provide one single risk management method applicable to all types of water utilities for decisions at both strategic and operational levels. Instead, the framework when fully developed will provide risk reduction and increasing reliability of the

waterworks systems. AHP can dramatically improve the process of developing project proposals.

The suggested model and predictive key risk indicators in Table 1 are an important tool within operational risk management and control of risk. In so doing they may be used to support a range of operational risk management activities and processes, including: risk identification; risk and control assessments; and the implementation of effective risk appetite, risk management and governance waterworks systems. Defined as the ability to resist, absorb, recover from or successfully adapt to adversity or a change in conditions, the water sector, and other key sectors, are more resilient to man-made and natural disasters through the recognition of how threats and hazards to the water sector could have cascading effects to all critical infrastructure sectors.

The application of this model could to bring the discussion of some basic assumptions related to water management policy in this area.

POZNÁMKY:

- ¹ Synergie (spolupráce, spolupůsobení, z řec. synergism) značí takovou společnou akci diskretních subsystémů nebo prvků systému, která má celkový větší účinek, než by odpovídalo sumě účinků získaných nezávisle. Synergie odráží vlastnosti složitého systému, které se projevují v interakcích jeho podsystémů v dynamice sebezáchovy (existence), při obnově funkční struktury a ve vývoji nových struktur ve smyslu adaptace na změněné podmínky. Velké systémy a jejich struktury mají sklon k (α) bifurkacím (rozdělení na dvě a více částí), (β) turbulencím (nestálost, neuspořádanost).
- ² Brainstorming je metoda zvládání krizové situace založená na tvořivé činnosti expertů (členů krizového štábu) formou kolektivního řešení nestandardních problémů. Volně se překládá jako *burza nápadů*. Autor metody [4] odvodil název od dvou anglických slov – *brain* = mozek a *storm* = bouře.
- ³ Z hlediska teorie systémové analýzy a rozhodování je požadováno, aby *prostor hodnocení s množinou kritérií byl úplný a zároveň disjunktní* (tj. omezení, že určitý aspekt nesmí být hodnocen vícekrát). Porušení principu disjunkce se do značné míry projevuje v nedodržení *zásady vzájemné preferenční a užitkové nezávislosti posuzovaných parametrů* (především ve smyslu ukazatelů kritérií). Podmínky preferenční a užitkové nezávislosti parametrů matematicky precizovali [5].
- ⁴ Pro zachování aditivnosti úlohy [5] je třeba pracovat s normovanými či normalizovanými vahami (unitized weighting value), které se stanoví podle rovn. (6). Normování umožňuje názorně posoudit těsnost vztahu (odchylku) mezi vahami přisouzených různým ukazatelům.
- ⁵ Princip tranzitivity v komplexním systému v podstatě není možné dodržet, z toho vyplývá paradox konzistence. Nelze vytvořit dokonalou konzistentní strukturu preferencí, viz [9] s. 333. Není-li možno najít pohodlný kompromis, který zabezpečuje konzistenci preferencí, pak je lépe užívat při rozhodování méně formalizovaných metod.
- ⁶ Specifikaci rozdílů CBA a SCBA speciálně pro problematiku pitné vody aktuálně uvádí dokument Světové zdravotnické organizace WHO z roku 2011 [14].
- ⁷ *Perturbace* podle [15] představuje *rušivou změnu* systému; např. viz újma vyjádřená ukazatelem CECL.

⁸ Účelem *citlivostní analýzy* a testů citlivosti je *posoudit vliv nejistot, nepřesností a různých změn* v základních parametrech, které provázejí hodnocení od okamžiku stanovení (kvantifikace) ukazatelů kritérií až po určení jejich relativní důležitosti, na výsledek hodnocení. Pro všechny testy obecně platí, že jsou-li výsledky původního hodnocení (pořadí variant) a testů citlivosti stejné, lze *posuzovaný systém pokládat za stabilní konzervativní* [9].

Zkratky

AHP	Analytic Hierarchy Process
ALARP	As Low As Reasonably Practicable
CBA	Cost-Benefit Analysis
CBR	Chemical, Biological, or Radiological
CECL	Customer Equivalent Connection Loss
COOP	Continuity Of Operations Plan
DAME	Decision Analysis Module for Excel
DSS	Decision Support Systems
EA	ekonomická aktivita
HAZOP	HAZard and OPerability Study
HZS	hasičský záchranný sbor
IED	Improvised Explosive Device
KI	kritická infrastruktura
LČ	lidský činitel
MAUT	Multi-Attribute Utility Theory
MU	mimořádná událost
NASA	The National Aeronautics and Space Administration
PKP	plán krizové připravenosti
SCBA	Social Cost-Benefit Analysis
SCM	Supply Chain Management
SIL	Safety Integrity Level
SZV	systém zásobování vodou
VA	Vulnerability Assessment
WHO	World Health Organization
ŽP	životní prostředí

Literatura

- [1] VALÁŠEK, Jarmil. Chápání rizik. *The science for population protection*. 2008, č. 0, s. 113-123. ISSN 1803-568X.
- [2] ISO/IEC 16085. *Systems and software engineering. Life cycle processes. Risk management*. 2006. Dostupné z: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=40723

- [3] Zurich Insurance Company. *ZHA - Zurich Hazard Analysis*. Risk Engineering Corporate Center, Zurich, Switzerland, 2012. Dostupné z: http://www.zurich.com/riskengineering/global/services/strategic_risk_management/zha_services
- [4] OSBORN, A. F. *Applied Imagination*. New York: Charles Scriber's Sons, 1957.
- [5] KEENEY, R. L. a H. RAIFFA. *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-Offs*. New York: J.Wiley & Son, 1976.
- [6] SAATY, L. T. A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. *Journal of Mathematical Psychology*. 1977, roč. 15, č. 3, s. 234.
- [7] SAATY, L. T. *The Analytic Hierarchy Process*. New York: Mc Graw-Hill, 1990.
- [8] SAATY, L. T. Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*. 2008, roč. 1, č. 1, s. 83-98. Dostupný z: http://colorado.edu/geography/leyk/geog_5113/readings/saaty_2008.pdf
- [9] ŘÍHA, J. *Bezpečnost a riziková analýza životního prostředí. Teoretická východiska*. Praha: CITYPLAN spol. s r.o., 2009. 62 s. ISBN 978-80-254-4663-8.
- [10] GMU. *Analytical Hierarchy Process (AHP)*. George Mason University Classweb Directories, 2008. 13 s. Dostupný z: <http://classweb.gmu.edu/aloerch/573-AHP.pdf>
- [11] PALCIC, I. & LALIC, B. Analytical Hierarchy Process as a Tool for Selecting and Evaluating Projets. *Int. J. Simul Model*. 2009, roč. 8, č. 1, s. 16-26. ISSN 1726-4529.
- [12] KEENEY, R. L. a H. RAIFFA. *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-Offs*. New York: J.Wiley & Son, 1976.
- [13] MŽP ČR. Metodický pokyn odboru environmentálních rizik MŽP pro zpracování zprávy o posouzení bezpečnostní zprávy podle zákona č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií. 2006.
- [14] WHO. *Valuing Water, Valuing Livelihoods*. Guidance on Social Cost-benefit Analysis of Drinking-water Interventions, with special reference to Small Community Water Supplies. London: IWA Publishing, 2011. 262 s. ISBN 1843393107.
- [15] JOHANSSON, J. *Risk and Vulnerability Analysis of Large-Scale Technical Infrastructures. Electrical Distribution Systems*. Department of Industrial Electrical Engineering and Automation, Faculty of Engineering, Lund University. 2007.
- [16] HSE. ALARP "at a glance". Health and Safety Executive. Merseyside, 2010. Dostupné z: <http://www.hse.gov.uk/risk/theory/alarpglance.htm>
- [17] BABINEC, F. K úrovni integrity bezpečnosti. *AUTOMA*. 2008, č. 6, s. 8-11.
- [18] PERZINA, R. & J. RAMIK. DAME – Microsoft Excel add-in for solving multicriteria decision problems with scenarios. In: *Proceedings of 30th International Conference Mathematical Methods in Economics*. 2012. ISBN 978-80-7248-779-0. Dostupné z: http://mme2012.opf.slu.cz/proceedings/pdf/000a_Title_page.pdf

- [19] RAMÍK, J. Analytický hierarchický proces (AHP) a jeho možnosti uplatnění při hodnocení a podpoře rozhodování. In: *Sborník „Matematika v ekonomické praxi“*. Jihlava: Vysoká škola polytechnická, 2010, s. 8-26. ISBN 978-80-87035-34-4. Dostupné z: <https://most.vspj.cz/files/11/Matematika-v-ekonomicke-praxi.pdf>
- [20] FULLER, D. *Vést nebo být veden?* Praha: Nakl. Naše vojsko, 1967. (Přeloženo z *Manage or to be managed?* Boston, 1963.)