

SCÉNÁŘE PRO PREVENCI A ZMÍRNĚNÍ VNĚJŠÍHO OHROŽENÍ INFRASTRUKTURY ZÁSOBOVÁNÍ VODOU

SCENARIOS FOR PREVENTING AND MITIGATING TO EXOGENOUS THREATS ON WATER SUPPLY INFRASTRUCTURE

Josef ŘÍHA
riha.joe@volny.cz

Došlo 7. 12. 2011, upraveno 15. 3. 2012, přijato 19. 3. 2012.

Dostupné na http://www.population-protection.eu/attachments/040_vol4n1_riha.pdf.

Abstract

This paper focuses on the failure management and prevention strategies for drinking water systems. All drinking water systems are subject, to a greater or lesser degree, to hazards. In reality, it is impossible to make any structure perfectly immune from failure. This paper provides a brief overview of the concept of a linguistic variable for the identification and designation weak and critical elements of drinking water systems. Signification of Scenarios are alternative descriptions of how the future might unfold. A key principle of water policy, is that pollution should be dealt with as close to the point of origin as possible (catchment protection).

Keywords

Critical infrastructure, disaster scenario, drinking water, exogenous threats, linguistic variable and fuzzy sets, redundancy configuration.

Příspěvek řeší problém selhání funkce vodárenského systému z důvodu přírodní nebo antropogenní pohromy včetně teroristického činu. Cílem bylo označit míru důležitosti a kritičnosti hlavních prvků systému. Pro rizikovou analýzu byla aplikována teorie mlhavých množin a lingvistické proměnné. Pro následné praktické aktivity zvyšování bezpečnosti vodárenských soustav má neopominutelný význam axiomatická teorie užitku a multikriteriální rozhodovací proces.

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

Příjem vody pro člověka představuje základní fyziologickou potřebu; v ČR je na dodávce vody závislých 9,787 mil. obyvatel z veřejné vodárenské sítě,

tj. 93,1 % veškerého obyvatelstva (rok 2010; pramen ČSÚ). Výroba a distribuce pitné vody patří mezi nejzranitelnější kritickou infrastrukturu s fatálně bezprostředním důsledkem. Problém je zakódován ve vlastnostech vody, která přijímá a současně dobře rozpouští jiné látky. Slabou stránku představuje skutečnost, že např. onemocnění lidí bývá prvotně zjištěnou známkou nepřátelského útoku (první signál).

Vnější ohrožení systémů zásobování vodou, tzn. scénář nebezpečí¹, spočívá v dopadu přírodní pohromy, v nepřátelském ale i neúmyslném vyvolání technologické havárie, znečištění chemickou, biologickou nebo radioaktivní látkou; poškození, destrukce nebo sabotáž fyzikální infrastruktury a zničení řídicího výpočetního systému. Scénář (model) pohromy je soubor izolovaných i propojených dopadů v prostoru a čase, který vyvolá nebo může vyvolat vznik událostí lišících se od předpokládaného stavu či vývoje systému (objektu), jeho celistvosti a funkce. Jedná se o časový sled událostí po vzniku pohromy v prostoru postiženém dopadem pohromy.

Možnost zvýšení bezpečnosti/spolehlivosti² se soustřeďuje elementárně na tři hlavní scénáře, viz [6], [20], tj.

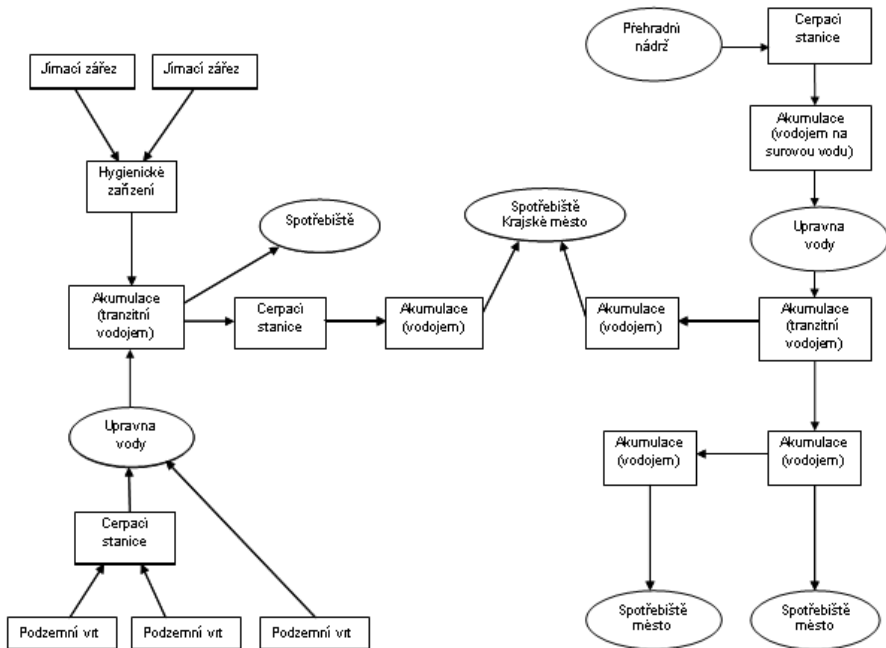
- (i) prostřednictvím fyzikální bezpečnosti – oplocením, kamerami, ostrahou aj.,
- (ii) pomocí kontrolních spotřebitelských uzlů zbytkové dezinfekce,
- (iii) prostřednictvím sofistikované lokalizace „on-line“ monitorovacích stanic znečištění.

Za čtvrtý scénář lze pokládat strategii zvyšování odolnosti a pružnosti. Systém odolný k poruchám poskytuje ochranu proti selhání a pomáhá zvýšit maximální produktivitu. Jde o redundantní konfiguraci³ kritických prvků, monitoring, odezvu a obnovu.

Mimořádný důraz na bezpečnost pitné vody je exkluzivně doložen ve dvou relevantních dokumentech, tj. v *Bonnské chartě pro bezpečnou pitnou vodu* z roku 2004 [12] a v *Plánech pro zajištění bezpečnosti vody. Řízení kvality pitné vody od povodí ke spotřebiteli* [33]. Světová databáze [10] nabízí obsáhlý přehled historicky zaznamenaných událostí vodního terorismu za období 1748 až 2006.

Riziková analýza vodárenského systému na základě teorie mlhavých množin

Kategorie systému zásobování pitnou vodou SZV implicitně pokrývá vágní terminologii EU, kde namísto pitné vody se deklaruje termín „voda pro lidskou spotřebu“, viz Směrnice 98/83/ES [30]. Strukturu SZV standardně tvoří vodní zdroj, jímání, úprava, akumulace, čerpání, trubní síť a řídicí centrum (velín, dispečink). Modelové virtuální schéma vodárenské kombinované soustavy je uvedeno na obr. 1. Vyřazení různých prvků soustavy z provozu má potenciálně různý dopad na nefunkčnost soustavy jako celku. V závislosti na skutečné konfiguraci reálné SZV se projevuje různá míra kritičnosti jednotlivých prvků z hlediska jejich vnějšího ohrožení.



Obr. 1

Modelové virtuální schéma vodárenské kombinované soustavy; podle [27].

V rámci výzkumného projektu MV ČR reg. č. VF20102014009, viz [27], bylo zjišťováno chování a kritičnost celkem dvaceti prvků hypotetického systému zásobování pitnou vodou, jejichž přehled je uveden v tab. 1. Teoretickým východiskem byla mlhavá riziková analýza. Uplatněna byla teorie *fuzzy množin* a *fuzzy logiky* [25]. Jinými slovy týmovým expertním způsobem byl posuzován význam nefunkčnosti (selhání) prvku systému z hlediska spolehlivé funkce dodávky pitné vody v požadovaném množství, jakosti a čase koncovému uživateli („na kohoutku“) metodou mlhavých množin a lingvistické proměnné. Ankety se zúčastnilo 14 řešitelů výzkumného úkolu. Transformace verbálních výroků [VV] na pomocné body [PB] byla provedena pomocí kódového klíče Ecoimpact FORMULA⁴ z roku 1994 [24].

Tabulka 1
Seznam posuzovaných prvků hypotetického systému zásobování pitnou vodou;
podle [27].

Id. č.	Prvek soustavy	Id. č.	Prvek soustavy
01	jímání vody-povrchové-povodí (k danému odběrnému profilu)	11	úpravna vody – řídicí systém (velín, dispečink)
02	jímání vody-povrchové-vodní tok	12	úpravna vody – mechanicky – filtrace
03	jímání vody-povrchové-nádrž	13	úpravna vody – chemicky – sedimentace
04	jímání vody-povrchové-z nádrže/přehrady – odběrová věž	14	úpravna vody – chemicky – čiřiče
05	jímání vody-povrchové-z vodního toku – vzdouvací konstrukce (prvek) včetně odběrného objektu	15	akumulace – vodojem – zemní
06	jímání vody-povrchové-z vodního toku – jímací zařízení	16	akumulace – vodojem – věžový
07	jímání vody-podzemní – hydrogeologický rajón (k danému odběrnému profilu)	17	trubní/vodovodní síť – příváděcí řad včetně armatur (uzávěry/šoupátka, hydranty, vzdušníky, redukční ventily, kalosvody, etc.)
08	jímání vody-podzemní – jímací objekt	18	trubní/vodovodní síť – zásobovací řad
09	čerpací stanice – akumulační nádrž (pro surovou nebo upravenou vodu)	19	trubní/vodovodní síť – distribuční síť - samostatný vodovod
10	čerpací stanice – strojovna (pro surovou nebo upravenou vodu)	20	trubní/vodovodní síť – distribuční síť – vodovodní přípojky

Cílem šetření bylo určit numerické hodnoty rizikového indexu $I(R-fuzzy)_i$ individuálně pro každý prvek soustavy; pro index platí vztah

$$I(R-fuzzy)_i = P_i \times D_i \quad (1)$$

kde je P_i ... pravděpodobnost uskutečnění potenciální hrozby pro posuzovaný prvek soustavy [%],

D_i ...dopad nefunkčnosti nebo poruchy posuzovaného prvku soustavy [PB] pro $i \in (1 \text{ až } 20)$.

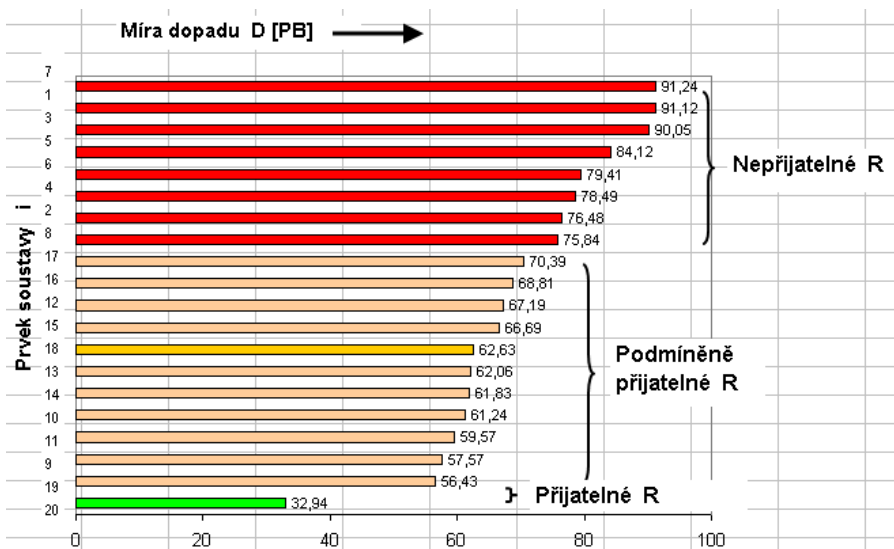
Obě veličiny byly klasifikovány podle zásady

„čím vyšší \gggg tím horší“

Pracovní scénář předpokládal zvláštní případ posouzení rizika pro rovnocenné hodnoty pravděpodobnosti potenciálních hrozeb. Jinými slovy pro $P_i = \text{konst.}$, kde $i = 1, 2, \dots, n$, přičemž $n = 20$. V tomto případě se rovn. (1) redukuje na

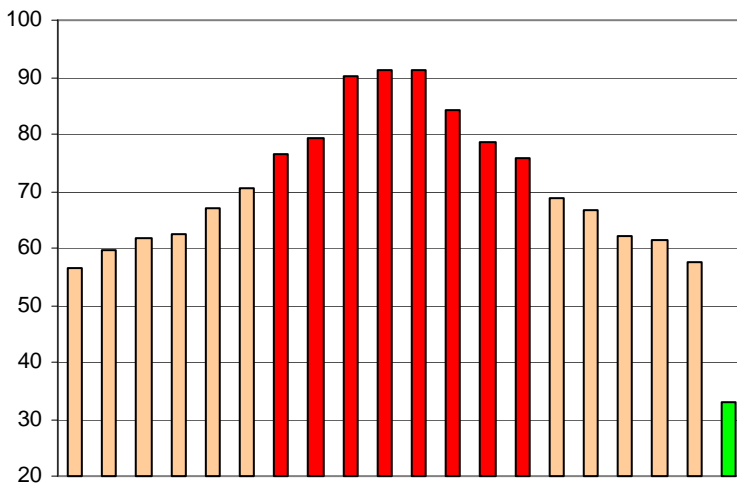
$$I(R\text{-fuzzy})_i = D_i \quad (2)$$

Pro rovnocenné hodnoty pravděpodobnosti potenciálních hrozeb byla zjištěna rizikovost jednotlivých prvků soustavy ve třech kategoriích označených jako riziko nepřijatelné, podmíněně přijatelné a přijatelné. V kategorii nepřijatelného rizika byly hodnoceny vesměs veškeré druhy jímání surové vody (indexy podle pořadí 07, 01, 03, 05, 06, 04, 02, 08); naopak jako přijatelné riziko se jeví pro trubní/vodovodní síť - distribuční síť - vodovodní přípojky (index 20), celková vizualizace viz obr. 2.



Obr. 2

Hierarchizace dopadu nefunkčnosti prvků soustavy pro $P = \text{konst.}$



Obr. 3
Test rozdělení priorit prvků soustavy

Poznámka k obr. 3: Diagram je vytvořen postupným vynášením úhrnů předností od mediánu střídavě na levou a pravou stranu od nejvyšší do nejnižší hodnoty. Vrcholy sloupcového diagramu naznačují obalovou křivku pro tzv. normální rozdělení náhodných chyb (Gaussovo rozdělení). Tím se prokazuje objektivní reprezentativnost výsledku bez rušivého vnějšího (cíleného) vlivu.

Studie [27] byla doplněna testem rozdělení náhodných chyb (obr. 3) a testem shody výpovědi znalců, tj. analýzou konzistence výpovědí expertů metodou konkordance. Kontrolní výpočet součinitele konkordance Γ byl proveden podle M. Kendalla [15]. Z uvedeného posouzení vyplynulo signifikantní zjištění, že shoda výpovědi znalců je statisticky významná, protože hodnota $\Gamma = 0,562$ a $[(\chi^2 = 149,5) \gg (\chi_p^2 = 10,12)]$ při počtu stupňů volnosti $\nu = 19$ a hladině významnosti $p = 0,95$.

Je pozoruhodné, že respondenti zcela nezávisle přisoudili nejvyšší riziko všem druhům jímacího zařízení (zdroj surové vody pro soustavu). Tento poznatek potvrzují zkušenosti z praxe; musí být využit pro zvýšenou bezpečnost a spolehlivost scénáře každé reálné SZV v konkrétní lokalitě z hlediska vnějšího ohrožení (neúmyslné a úmyslné znečištění jímací oblasti pitné vody). Hodnotu rizikového indexu $I(R\text{-fuzzy})_i$ je třeba v každém individuálním případě posoudit podle rovn. (2) a veličinu P_i doplnit a stanovit expertním odhadem (odpovědnou osobou např. správcem SZV).

Teorie užitku a totální rizikové skóre

Sofistikovaná příprava scénářů prevence SZV vyžaduje uplatnit multikriteriální rozhodovací analýzu. Obecně je tento problém řešen v práci [23]. Metoda TUKP/TIEQ je multikriteriální metoda rozhodovací analýzy z kategorie tvrdého, určitého typu. Opírá se o *axiomatickou teorii kardinálního užitku* MUT, katalogy kritérií a vyhodnocovací křivky (rating curves). Prioritně je používána pro základní cíl stanovení preference různých záměrů (srovnatelných scénářů – variant). Adaptabilita metody (libovolná volba seznamu kritérií) umožňuje použití jednak pro rizikovou analýzu a spolehlivost technologických systémů, jednak pro posuzování potenciálního impaktu a rizika pohrom v rámci velkých územních celků (proces EIA a SEA).

Teoretický základ metody TUKP tvoří koncepce analýzy dovedené až do stadia rozhodnutí. Podle autora teorie hodnotové analýzy L.D.Milese z r. 1961, cit. [8], je pro daný případ provedena modifikace pro stanovení *užité hodnoty* (use value) a hodnoty *osobní oblíby* (esteem value), především zařazením vhodných kritérií do vytvářených individuálních katalogů. Předpokládá se, že pro daný počet scénářů (variant V_i) a pro množinu indexů j lze stanovit všechny hodnoty parametrů (kritérií) P_j a dílčích funkcí užitku U_j , pro které platí vztah

$$U_j = f_j(P_j), \quad (3)$$

který vyjadřuje matematickou formu dílčí funkce užitku. Celková funkce užitku U je závislá na celkovém důsledku a pro její konstrukci slouží množina dílčích funkcí užitku U_j . Předpokládá se dodržení podmínek preferenční a užitkové nezávislosti ukazatelů kritérií $f_j(P_j)$. Dále je stanovena podmínka, že pro celý soubor V_i je váhový či kvantitativní multiplikátor, tj. relativní význam vyšetřovaného P_j v rámci celého souboru $j = 1, 2, \dots, n(y)$

$$w_j = \text{konst.} \quad (4)$$

Hodnota souhrnné funkce pro určitý scénář (variantu) je dána hodnotou mnoha rozměrného vektoru U_i podle vztahu

$$\underline{U}_i = \sum_{j=1}^n U_j w_j \quad (5)$$

Uvedený tvar funkce lze použít pouze v tom případě, že pro množinu w_j platí

$$0 \leq w_j \leq 1 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

a současně

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (7)$$

Paradigma teorie MUT se objevuje v mnoha modifikovaných aplikacích. Např. tzv. *Totální rizikové skóre* TRS vyjadřuje souhrnné numerické vyjádření rizika na podkladě tří parametrů, tj. *faktoru významnosti* IF, *faktoru okolností* OF_{*i*} a *faktoru zranitelnosti* VF_{*i*}; viz [7], [18].

Faktor významnosti (IF), vyjadřuje míra sociálně ekonomického impaktu provozu zařízení, vypočítaná jako kombinace vlastností zařízení a diferencované váhy, kterými jsou m.j.

- historický a symbolický význam,
- hodnota nenahraditelnosti (nezastupitelnosti),
- význam pro regionální ekonomiku,
- kritická/rozhodující užitečnost (*criticality of the utilities*) spojená se zařízením,
- vojenský význam,
- expozice obyvatelstva nebo zařízení.

Faktor okolností (OF_{*i*}), vyjadřuje míra pravděpodobnosti nebo potenciální hrozba (*i*), vypočítaná s uvážením diferencované váhy pro

- úroveň přístupnosti,
- úroveň bezpečnosti,
- viditelnost nebo atraktivitu zařízení,
- úroveň publicity,
- počet ohrožení zařízení v minulosti.

Faktor zranitelnosti (VF_{*i*}), vyjadřuje míra důsledků pro zařízení a uživatele daná výskytem hrozby (*i*), vypočítaná s uvážením diferencované váhy pro

- očekávanou škodu,
- očekávaný prostoj nebo uzavření zařízení,
- očekávaný počet obětí.

Algoritmus výpočtu totálního rizikového skóre TRS pro určité zařízení, objekt nebo scénář je definován rovnicí

$$\text{TRS} = (\text{IF}) \sum [(\text{OF}_i)(\text{VF}_i)] \quad (8)$$

a zároveň

$$\text{IF} = \sum [w_j f_j(x_j)] \quad (8a)$$

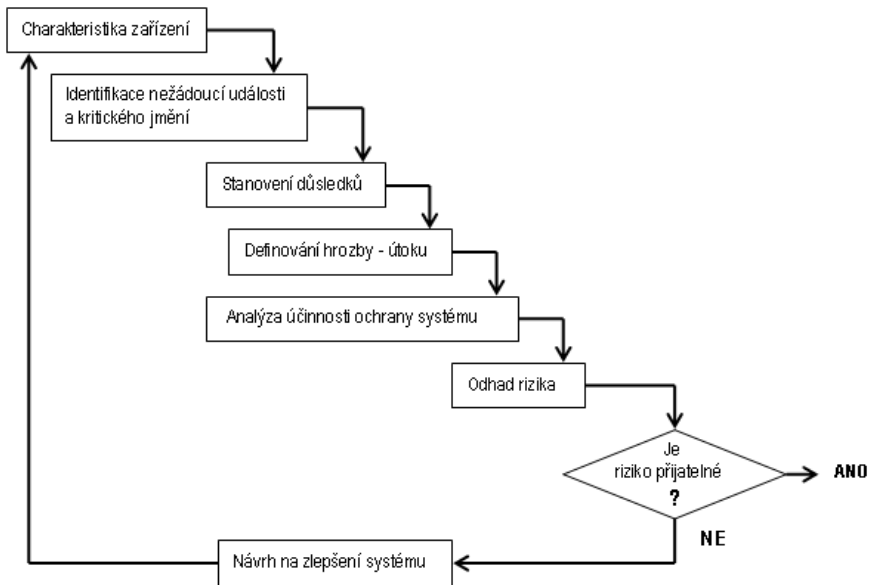
$$\text{OF} = \sum [w_j f_j(x_j)] \quad (8b)$$

$$\text{VF} = \sum [w_j f_j(x_j)] \quad (8c)$$

kde všechny faktory v rovn. (8) jsou vypočítány pomocí teorie MUT a nabývají hodnoty v intervalu $< 0; 1 >$. Veličina x_j je hodnota parametru j ; $f_j(x_j)$ vyjadřuje jednorozměrnou funkci užitku v intervalu $< 0; 1 >$, symbol w_j značí relativní důležitost (normovanou váhu) parametru j . Symbol \sum deklaruje součet všech

uvedených vlastností jednotlivých faktorů IF, OF a VF. Váhy jednotlivých vlastností jsou určovány metodou párového porovnání ve smyslu AHP (Analytic Hierarchy Process) s odkazem na [28]. Pokud se pracuje týmovou expertní metodou, jsou použity průměry.

Způsob analýzy teroristického rizika z hlediska fyzikální ochrany systémů různých zařízení nabízí vývojové schéma na obr. 4 podle [29]. Základ tvoří sedm postupných kroků.



Obr. 4

Metodické schéma sedmi postupných kroků řešení analýzy teroristického rizika pro fyzikální zařízení nebo objekt; podle [29].

Možnosti zvyšování bezpečnosti vodárenských soustav

Prevence a zmírnění vnějšího ohrožení infrastruktury zásobování vodou se obecně soustřeďuje na dopad přírodní pohromy, v podmínkách ČR především povodně, dlouhotrvající mrazy, méně častěji vichřice či tornáda, výjimečně zemětřesení, apod. Studie [22] obsahuje souhrn dalších vnějších faktorů působících na spolehlivost SZV.

Tabulka 2
Nepříznivě působící faktory na stavebně konstrukční řešení vodárenských soustav;
podle [22].

Konstrukční faktory	Externí faktory	Interní faktory	Provozní faktory vč. údržby
Lokalita potrubí	Půdní typ	Rychlost vody	Datum poruchy
Profil	Zatížení	Vodní tlak	Datum opravy
Délka	Podzemní voda	Kvalita vody	Lokalita poruchy
Rok realizace	Bludné proudy	Hydraulické rázy	Typ poruchy
Materiál potrubí	Úprava podloží	Vnitřní koroze	Historie poruch
Spojovací technika	Průsaky		
Vnitřní ochrana	Jiné sítě		
Vnější ochrana	Solení vozovek		
Tlaková třída	Teplota (mráz)		
Tloušťka stěn	Vnější koroze		
Hloubka uložení			
Úprava podloží			

Narůstající intenzita teroristických akcí však zdůrazňuje hrozbu antropogenního vnějšího ohrožení prvků SZV v plném rozsahu škály potenciálních útočníků. Jsou to vandalové, zločinci, záškodníci (sabotéři, gerilové skupiny) a zasvěcenci (osoby se znalostí a volným přístupem do SZV). Vyšší formu útoku zasvěcenců představuje ohrožení elektronického kontrolního systému vč. databáze (SCADA). Klasifikace a kategorizace útočníků je důležitá z hlediska jejich motivace, schopnosti, diferenciacie sledovaných cílů, apod. Predikce hlavních hrozeb v budoucnosti pro SZV uvádí na prvním místě kategorii „sabotáže a teroristický útok“, zahrnující různé druhy ohrožení, podrobněji viz databáze „TECHNEAU Hazard Database“ (THDB), cit. [2], [21].

Hrozba teroristického útoku a riziko teroristického činu vyžaduje specifický přístup k analýze, který se liší od standardního konceptu RA, viz teoretická východiska [26]. Základ tvoří *podmíněná pravděpodobnost a konvoluce*. Pro riziko teroristického činu R^{ter} musí být uvážena pravděpodobnost úspěšného teroristického útoku a důsledek tohoto útoku. Riziko teroristického činu R^{ter} je matematicky definováno jako vztah *hrozby, zranitelnosti a důsledku*, cit. [3], tj.

$$Teroristické\ riziko_{i,j,k} = Hrozba_i \star Zranitelnost_{i,j} \star Důsledek_{i,j,k} \quad , \quad (9)$$

kde je i – *určitý scénář ohrožení;*
 j – *určité zařízení nebo objekt;*
 k – *určitý typ důsledku.*

Pod pojmem hrozby se rozumí „scénář ohrožení“, tzn. hrozba implicitně zahrnuje *znalost, vlastnosti a plán útoku* teroristů. Operátor “ \star ” vyjadřuje

konvoluci, protože hrozba, zranitelnost a důsledek nejsou čísla, ale pravděpodobnostní rozdělení. *Zranitelnost* je definována jako pravděpodobnost úspěšného ohrožení včetně uvážení použitých ochranných opatření, takže hrozba a zranitelnost dohromady vyjadřují pravděpodobnost úspěšného teroristického útoku.

V domácím znalostním segmentu bezpečnostní vědy zaznamenáváme narůstající pozornost spolehlivosti SZV. Např. v práci [16b] nacházíme pokus o multikriteriální hodnocení zranitelnosti soustavy pomocí 14 vybraných prvků a triviální metody bodového hodnocení; v práci není zmíněna strategie redundantní konfigurace SZV a postrádá hodnocení klíčového rizikového bodu, tj. řídicího centra soustavy (řídicí systém, velín, dispečink). Tvrzení, že hlavním rizikovým bodem je distribuční síť, není v souladu se zkušenostmi ze zahraničí. Např. aktuální manuál [13] přisuzuje bezpečnostní prioritu ventilům, aeraci a řídicímu počítačovému subsystému; manuál předpokládá redundantní konfiguraci u těchto kritických prvků, vč. monitoringu, odezvy a možné obnovy. Důraz je kladen na 100% redundantní konfiguraci chlorace napájecím čerpadlem, aby byl zajištěn plný nepřerušovaný provoz a možnost údržby soustavy. Toto opatření v plné míře platí pro alternativní zdroj elektrické energie, na které jsou SZV bytostně závislé (záložní generátory). Absenci konceptu redundance ve vodárenských soustavách kritizují autoři studie [17], potřebu brilantních bezpečnostních plánů na principu redundance zdůrazňuje práce [14].

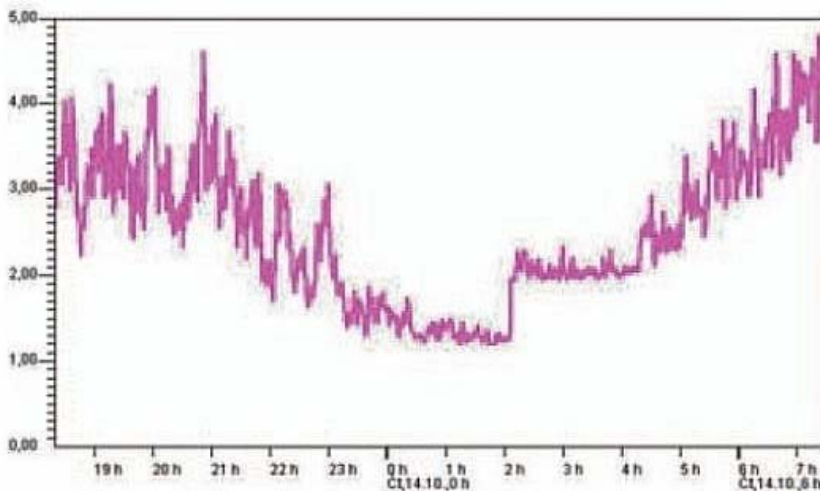
S ohledem na silně sofistikované útočné schopnosti aktérů jsou v současné době hledány účinné obranné prostředky. Především to je potřeba bezprostřední indikace toxické látky v pitné vodě. Např. software CANARY Event Detection Software (Sandia National Laboratories) umožňuje excelentní rychlost odezvy cca 20 až 40 minut po první detekci škodliviny v distribučním systému, viz [5]. Obdobně Early warning systems (EWS), nástroj Randomized pollution matrix (RPM), viz [20] a Discrete sensor placement, viz [1]. Obecně platí, že rychlá detekce a určení biologického prostředku je nesrovnatelně obtížnější a složitější než detekce radiologického nebo chemického útoku. Z tohoto důvodu významnou úlohu v zajištění ochrany proti biologickému útoku má nesporně i zpravodajská služba.

Razantní průlom v oblasti indikátorů se očekává od využití nanotechnologie. Výstupy projektu spolufinancovaného EK pod názvem „DINAMICS“ (DIagnostic NAnotech and MICrotech Sensors) zahrnují m.j. systém „AquaBioTox“, tj. využití nanotechnologie a novou generaci sensorů, viz [19]. Uvádí se hrozba tzv. „Backflow Attacks“, kterou lze snadno realizovat vstřikovacím čerpadlem a toxickou látkou na kterémkoliv místě sítě [32]. Z tohoto pohledu je za slabé místo pokládán požární hydrant, který musí být volně přístupný. Jako protiopatření je na komerční úrovni nabízena technologická ochrana Anti-Terrorism Valve (The Davidson ATV) pro požární hydranty, viz patentovaný systém protiteroristických ventilů fy Davidson Hydrant Technologies [4].

Konceptuální a strategické přístupy zdůrazňují potřebu vyhodnocovat historické mimořádné události veškerého typu, včetně neúmyslného selhání lidského činitele. Např. v odborné literatuře upoutávají pozornost dvě nezávislé mimořádné události chemického znečištění dvou různých soustav, které je

prezentováno ve formátu komparativní analýzy (Tel Aviv, Izrael 2001; Camelford, Anglie 1988), viz [34]. Pro praxi to je model pro úspěšně vedený teroristický chemický útok na vodárenský systém se stejnými souvislostmi a dopady. V domácích podmínkách je bezpočet příkladů fekálního znečištění infiltračních oblastí zdrojů pitné vody v důsledku kejdování zemědělské půdy s následnou epidemií hepatitidy.

Fyzikální spolehlivost VZS lze kontrolovat pravidelným monitoringem [16a], [31], viz obr. 5.



Obr. 5

Okamžik vzniku poruchy na potrubí je možné indikovat metodou mobilního měření průtoku; podle [16a].

Závěry

Úplná bezpečnost a spolehlivost funkce SZV neexistuje. Přijatelnou míru rizika je třeba posuzovat zejména z hlediska *rozsahu, závažnosti a časové dimenze*. Význam scénářů pro prevenci spočívá v alternativním popisu možné budoucí situace spojených s otázkami typu „What-If“. Scénář nebezpečí se mění v závislosti na čase. Generování a vyhodnocení scénářů umožňuje označit pomocné nástroje a technologie pro zvýšení protiteroristické bezpečnosti vodárenských soustav ČR.

Cesty ke zvyšování bezpečnosti SZV vedou přes aplikaci současné úrovně poznání v oblasti teorie systémů, rozhodovací rizikové analýzy a špičkové technologie. Za největší hrozbu je indikováno riziko deteriorizace kvality surové vody pro soustavu a destrukce jímacího zařízení.

Résumé

This paper focuses on the failure management and prevention strategies for drinking water systems. All drinking water systems are subject, to a greater or lesser degree, to hazards. According to the Council directive 98/83/EC, the overall objective of a water distribution system is to supply each consumer with enough water of good quality. The safety of the water network should be considered and the overall costs should be acceptable. The term “enough” water means fulfilling pressure and water demands. The water distribution system is built of pipes, valves, storage tanks and pumping stations.

In reality, it is impossible to make any structure perfectly immune from failure. Accordingly, to reduce the possible negative effects on the residents, it is also important to establish measures to quickly fix interrupted water supplies. Although it is difficult to predict all damage that will be caused by natural disaster or terrorist act to a water supply system. Risk is defined in general as a relation between likelihood and consequence; conceptually, a low likelihood/high consequence event can have the same risk as a high likelihood/low consequence event. For a terrorist act, risk must consider the likelihood of a successful terrorist attack and the consequences of that attack. For a terrorist act, we will mathematically define Risk as a relation among: Threat, Vulnerability, and Consequence. In the context of Equation 7, i denotes a specific threat scenario, j a specific facility, and k a specific type of consequence. The “★” operation represents convolution, since Threat, Vulnerability, and Consequence are not numbers but “likelihood” distributions. Vulnerability is defined as the likelihood of success of the threat, considering the protective measures in place; thus, Threat and Vulnerability together provide the likelihood of a successful terrorist attack.

Entities operating and maintaining these systems should have strategies directed at reducing the vulnerability of the systems and providing the best possible response once an emergency arises. Resilience is the ability to withstand hazards without incurring loss of service or, if some loss of service cannot be avoided, to restore it in an acceptably short time.

This paper provides a brief overview of the concept of a linguistic variable for the identification and designation weak and critical elements of drinking water systems. A linguistic variable is defined as a variable whose values are fuzzy variables. In general, fuzziness describes objects or processes that are not amenable to precise definition or precise measurement. 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 axiomatic theory of cardinal utility MUT and by using the additive model of the TIEQ method, too.

Signification of Scenarios are alternative descriptions of how the future might unfold. Scenarios are an outline or model of an expected or supposed sequence of events. A key principle of water policy, is that pollution should be dealt with as close to the point of origin as possible (catchment protection).

POZNÁMKY:

- ¹ *Scénář nebezpečí* (hazard scenario, threat scenario) není matematickou veličinou. Tímto názvem se označují skutečnosti, z nichž se při hodnocení rizika vychází. Především se musí znát hrozící *nebezpečí* nebo *hrozba* (hazard, threat) a dále, jakým způsobem se může jeho realizace projevit. Scénář nebezpečí se mění v závislosti na čase.
- ² *Spolehlivost* (reliability) je obecná vlastnost objektu spočívající ve schopnosti plnit požadované funkce při zachování hodnot stanovených provozních ukazatelů v daných mezích a v čase podle stanovených podmínek, cit. názvoslovná norma (viz ČSN 01 0101). Spolehlivost nelze kvantifikovat; je to komplexní vlastnost systému.
- ³ *Redundantní konfigurace* (redundancy configuration) vyjadřuje rezervu, nadstav, přebytečnost, miru zálohování, informační nebo funkční nadbytek. Je to schopnost prvků systémů přejímat funkce prvků v poruše; přihlíží k *chráněným zájmům společnosti*.
- ⁴ *Ecoimpact FORMULA* tvoří součást autorizované metody Fuzzy Logiky a Verbálních Výrazů (FL-VV), viz J. Říha [24]; představuje numerickou transformační termů v podobě kódového klíče ve smyslu „know-how“ (nepublikováno). Metoda FL-VV byla v domácí praxi testována jednak pro ryze stavebně technické problémy, jednak pro strategické úlohy rozhodování. Zásadně byla akceptována vládní komisí pro posouzení vlivu JE Temelín na ŽP (proces EIA) podle protokolu z Melku (usnesení vlády ČR č. 65 ze dne 17. ledna 2001).

Zkratky

AHP	Analytic Hierarchy Process
ATV	Anti-Terrorism Valve
ČSÚ	Český statistický úřad
DINAMICS	DIagnostic NAnotech and MICrotech Sensors
EIA	Environmental Impact Assessment
ERP	Emergency Response Plan
EU	Evropská unie
EWS	Early Warning Systems
FL-VV	metoda Fuzzy Logiky a Verbálních Výrazů
IF	Importance Factor
MUT	Multiattribute Utility Theory
MV ČR	Ministerstvo vnitra České republiky
OF	Occurrence Factor
PB	Pomocné body
RAM-W	Risk Assessment Methodology for Water Utilities
RPM	Randomized Pollution Matrix
RS	Risk Score
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SEA	Strategic Environmental (Impact) Assessment
SZV	Systém zásobování (pitnou) vodou
THDB	TECHNEAU Hazard database
TIEQ	Total Index of Environmental Duality

TRS	Totální rizikové skóre
TUKP	Totální ukazatel kvality prostředí
VF	Vulnerability Factor
VV	Verbální výrok
WaterISAC	Water Information Sharing and Analysis Center

Literatura

- [1] BERRY, J., FLEISCHER, L., HART, W.E., PHILLIPS, C. Sensor placement in municipal water networks. In *Proceedings of the ASCE-EWRI World Water and Environmental Resources Congress*. Philadelphia, PA, 2003.
- [2] BEUKEN, R. et al. *Identification and description of hazards for water supply systems. A catalogue of today's hazards and possible future hazards*. TECHNEAU, 2007. pp 79.
- [3] DARBY, J. L. *Estimating Terrorist Risk with Possibility Theory*. Los Alamos National Laboratory, University of California, 2004. Dostupný z WWW: <www.osti.gov/energycitations/servlets/purl/836683-GMGm8L/native/836683.pdf>.
- [4] DAVIDSON HYDRANT TECHNOLOGIES. *Is the Nation's Water Supply Safe? America's Fire Hydrants Present the Next Great Threat to Homeland Security ... Are We Doing All We Can to Protect the Public?* 2006. Dostupný z WWW: <<http://defendyourh2o.com/threat/threat.html>>.
- [5] e!ScienceNews. *Sandia's CANARY software protects water utilities from terrorist attacks and contaminants*. July 25, 2011. Dostupný z WWW: <<http://esciencenews.com/articles/2011/07/25/sandias.canary.software.protect.s.water.utilities.terrorist.attacks.and.contaminants>>.
- [6] EPA. *Protecting The Nation's Water Supplies From Terrorist Attack* from the EPA Office of Water, 2011. Dostupný z WWW: <<http://www.au.af.mil/au/awc/awcgate/epa/secqanda.htm>>.
- [7] FHWA. *Recommendations for Bridge and Tunnel Security*. U.S. Federal Highway Administration. Washington, DC, 2007. Dostupný z WWW: <<http://www.fhwa.dot.gov/BRIDGE/security/brpappc.cfm>>.
- [8] FISHBURN, P.C. *Utility Theory for Decision-Making*. New York: J. Wiley, 1970.
- [9] FOCUS Project. *Foresight Security Scenarios: Mapping Research to a Comprehensive Approach to Exogenous EU Roles*. 2011. Dostupný z WWW: <www.focusproject.eu>.
- [10] GLEICK, P.H. Water and Terrorism. In *Water Policy*, 2006, no. 8, p. 481–503. Dostupný z WWW: <http://www.pacinst.org/reports/water_terrorism.pdf>.
- [11] HAIMES, Y.Y. et al. *Reducing the Vulnerability of Water Supply Systems to Attack*. Center of Risk Management, University of Virginia, June 11, 1997. Dostupný z WWW: <http://ascelibrary.org/iso/resource/1/jitse4/v4/i4/p164_sl?isAuthorized=no>.

- [12] HOLEČEK, M. Bonnská charta pro bezpečnou pitnou vodu – 2004. [Orig.: The Bonn Charter for Safe Drinking Water]. In *VAKINFO – vodohospodářský portál*. 25. 10. 2007.
- [13] Indian & Northern Affairs Canada. *Design guidelines for first nations water works*. Indian & Northern Affairs Canada, Gatineau, Quebec, K1A 0H4, 2006. This document updated: March 15, 2006, pp. 202. Dostupný z WWW: <<http://www.ainc-inac.gc.ca/enr/wtr/pubs/dgf/dgf-eng.pdf>>.
- [14] JESPERSON, K. Water Systems Should Polish Security Plans. In *On Tap Magazine*, Winter 2002. National Drinking Water Clearinghouse, West Virginia University, 2002, pp. 3. Dostupný z WWW: <http://www.nesc.wvu.edu/ndwc/articles/OT/WI02/WaterSys_SecPlans.html>.
- [15] KENDALL, M. G. *Rank Correlation Methods*. Oxford: Charles Griffin & Company Limited, 1948.
- [16a] KROČOVÁ, Š. Eliminace rizik rozvodů požární vody a zvýšení efektivity jejich provozování. In *112*, 2009, roč. VIII, č. 1, s. 10-11.
- [16b] KROČOVÁ, Š. Veřejné vodovody jako součást kritické infrastruktury státu. In *112*, 2009, roč. VIII, č. 11, s. 26-29.
- [17] NAGATA, S. & YAMAMOTO, K. Strategy Of Water Supply Network Restoration With Redundancy Index. In *13th World Conference on Earthquake Engineering*. Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, 2004. Paper No. 1178. Dostupný z WWW: <http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13_1178.pdf>.
- [18] NUKA. *EPA Community Response Plan (CRP) Pilot Project*. Nuka Research and Planning Group, LLC, Seldovia, Alaska, 2007. Dostupný z WWW: <<http://nukaresearch.com/CRP/>>.
- [19] OESTRAND, A. *A new detection system reveals terrorist attacks on water supply network*. Youris.com-European Research Media Center. 6 May 2011. Dostupný z WWW: <http://www.youris.com/Nano/Environment/A_New_Detection_System_Reveals_Terrorist_Attacks_On_Water_Supply_Networks.kl>.
- [20] OSTFELD, A. & SALOMONS, E. Optimal early warning monitoring system layout for water networks security: Inclusion of senzore sensitivities and response delays. In *Civil Engineering and Environmental Systems*, 2005, vol. 22, no. 3, p. 151–169. Dostupný z WWW: <http://gwri-ic.technion.ac.il/pdf/Professors/Avi_Ostfeld/9.pdf>.
- [21] ROSEN, L. et al. Generic Framework and Methods for Integrated Risk Management in Water Safety Plans. In *Techneau*, 07. June 14, 2007.
- [22] RØSTUM, J. *Statistical Modelling of Pipe Failures in Water network*. Trondheim, Norway: Faculty of Civil Engineering, the Norwegian University of Science and Technology, 2000. 132 pp.
- [23] ŘÍHA, J. Total Index of Environmental Quality as Applied to Water Resources. In *Risk Assessment of Chemicals in the Environment*. London: The Royal Society of Chemistry, 1988, pp. 363.
- [24] ŘÍHA, J. Celostátní expertní anketa pro posouzení verbálních výroků. ECOIMPACT Praha, 1994 (manuscript - kódový klíč ECOIMPACT FORMULA). Nepublikováno.

- [25] ŘÍHA, J. Využití fuzzy logiky a verbálních výroků pro posouzení strategických variant ve vodním hospodářství. In *VODNÍ HOSPODÁŘSTVÍ*, I. část, 1996, č. 6, s. 210-212, II. část, 1996, č. 7, s. 236-239.
- [26] ŘÍHA, J. Odhad rizika teroristického činu. In *112 – odborný časopis požární ochrany, integrovaného a ochrany záchranného systému obyvatelstva*, 2008, roč. VII, č. 3, s. 22-26. ISSN 1213-7057.
- [27] ŘÍHA, J. a kol. Aplikace teorie mlhavých množin pro kvantifikaci možných rizik a identifikaci potenciálně slabých míst systémů zásobování vodou. [Studie, nepublikováno.] In *Posuzování bezpečnosti prvků kritické infrastruktury a alternativní možnosti zvýšení zabezpečení měst a obcí pitnou vodou při vzniku živelních pohrom a rozsáhlých provozních havárií*. Praha: MV ČR reg. č. VF20102014009. CITYPLAN spol. s r.o., 2011. 66 s.
- [28] SAATY, T.L. *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw Hill, 1980.
- [29] SANDIA. *Risk Assessment Methodologies*. Sandia National Laboratories Security Livermore, California, 2007. Dostupný z WWW: <<http://www.sandia.gov/ram/>>.
- [30] SMĚRNICE RADY ze 3. listopadu 1998 o jakosti vody určené pro lidskou spotřebu 98/83/ES (OJ L 330, 5.12.1998, s. 32). PŘÍLOHA I: Parametry a jejich hodnoty. Dostupný z WWW: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1998:330:0032:0054:EN:PDF>>.
- [31] TU Delft. *Pumping stations and water transport. Reliability of drinking water systems*. Delft University of Technology, February 8, 2008, 69 p. Dostupný z WWW: <<http://ocw.tudelft.nl/fileadmin/ocw/courses/PumpingStationsandTransportPipelines/res00017/embedded/!4354353535302d696e74726f6475637469652032303038206e65772074656d706c617465.pdf>>.
- [32] WATERWORLD. *Protecting World Water Supplies Against Backflow Attacks*. 2011. Dostupný z WWW: <http://www.waterworld.com/index/display/article-display/9984695661/articles/water-wastewater-international/volume-25/issue-2/editorial-focus/treatment_-distribution/protecting-world_water.html>.
- [33] WHO. *International Health Regulations*. World Health Organization, Geneva, 2005, 2nd ed. 2008, pp. 82. ISBN 978 92 4 158041 0. Dostupný z WWW: <http://whqlibdoc.who.int/publications/2008/9789241580410_eng.pdf>.
- [34] WINSTON, G. & LEVENTHAL, A. Unintentional drinking-water contamination events of unknown origin: surrogate for terrorism preparedness. In *Journal of Water and Health*, 4 July 2007. Dostupný z WWW: <<http://www.iwaponline.com/jwh/006/s011/006s011.pdf>>.