

Analýza rizik vodojemů

Václav Papírník¹, Ladislav Tuhovčák², Jan Ručka³

Príspevek je zpracován v rámci projektu WaterRisk. Popisuje aplikaci navržené metodiky pro analýzu rizik vodojemů. Navržená metodika byla ověřována na dvou zemních vodojemech. Oba testované zemní vodojemy jsou provozovány společností Vodovody a Kanalizace Vyškov. Jako velký zemní vodojem byl vybrán vodojem Rousínov, který slouží jako zásobní vodojem pro město Rousínov a zároveň jako tranzitní vodojem pro vodojem Slavkov. Malým zemním vodojemem pro testování navržené metodiky byl vodojem Holubice. Tento vodojem slouží jako zásobní vodojem pro obec Holubice.

klíčová slova: water tank, reservoir, manipulation chamber, risk analysis,

1. Úvod

Vodojem je jedna z hlavních částí subsystému „*distribuce vody*“ systém u zásobování pitnou vodou. Zemní vodojemy se skládají ze dvou účelově od sebe odlišných částí a to akumulární nádrže a manipulační (armaturní) komory. V akumulární nádrži se akumuluje potřebné množství vody pro spotřebiště, v manipulační komoře jsou umístěna veškerá ovládací zařízení vodojemu (armatury), která umožňují řízení provozu vodojemu a ostatní pomocná zařízení (přívod elektrické energie). Riziková analýza zemních vodojemů je zaměřena na akumulární nádrže a manipulační komoru, kde vlivem některých nebezpečí či rizikových faktorů mohou vzniknout nežádoucí stavy, které by mohly mít vliv na provoz vodojemů, kvalitu a/nebo množství distribuované vody. Ostatní části vodojemů (jednotlivé ovládací armatury, potrubí, tvarovky apod.) jsou zahrnuty do těchto dvou hlavních částí vodojemů jako jejich součástí nezbytné pro správnou funkci. Hlavní část rizikové analýzy vodojemů je zaměřena na stanovení pravděpodobnosti vzniku nežádoucího stavu a stanovení následků, které mohou z posuzovaného nežádoucího stavu plynout a výslednou kvantifikaci rizika.

¹ Ing., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí, Žižkova 17, 662 37 Brno, tel. 541 147 727, e-mail: papirnik.v@fce.vutbr.cz

² Ing., CSc., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí, Žižkova 17, 662 37 Brno, tel. 541 147 727, e-mail: tuhovcak.l@fce.vutbr.cz

³ Ing., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí, Žižkova 17, 662 37 Brno, tel. 541 147 727, e-mail: rucka.j@fce.vutbr.cz

1.1 Metoda FMEA (Failure Mode, Effects Analysis)

Analýza způsobů a důsledků poruch je metodou analýzy spolehlivosti, která umožňuje identifikaci poruch s významnými důsledky ovlivňujícími funkci systému. Obecný postup metody FMEA je standardizován normou ČSN IEC 812. Metoda je velmi dobře použitelná pro analýzu technických systémů. Vychází z určité konstrukční úrovně, např. úrovně prvku nebo systému pro niž jsou k dispozici kritéria poruchy (prvotní způsoby poruch). Vychází z charakteristiky poruchy základního prvku a z funkční struktury systému a stanoví vztah mezi poruchami prvku a poruchami systému, selháním funkce, provozními omezeními a degradací provozuschopnosti nebo celistvosti systému. FMEA je induktivní metoda, která umožňuje provádět kvalitativní analýzy bezporuchovosti a bezpečnosti systému od nižší k vyšší úrovni. FMEA vyžaduje členění systému na prvky, definování funkční struktury systému a způsobu poruchy.

Analýza začíná výběrem prvku nejnižší zvolené úrovně, pro kterou je k dispozici dostatek informací. Na této nejnižší úrovni se sestaví do tabulky různé způsoby poruch, které na této úrovni mohou u každého prvku nastat. Prvky jsou posuzovány jednotlivě popořadě a důsledek poruchy každého z nich je považován za způsob poruchy při zvažování jejich důsledků na sousední vyšší úrovni. Takto se postupuje stále výše a výsledkem je identifikace důsledků poruch ve vztahu k specifickým způsobům poruch, a to na všech potřebných úrovních až po nejvyšší úroveň systému nebo po systém jako celek.

V rámci projektu *WaterRisk* je navržena implementace této metody pro semi-quantitativní ohodnocení rizika jednotlivých subsystémů a prvků systému zásobování pitnou vodou včetně vodojemů.

2. Aplikace metody FMEA při rizikové analýze vodojemů

2.1 Popis testovaných lokalit, vstupní data

Velký zemní vodojem Rousínov je zásobený z Opatovické přehrady a za určitých provozních podmínek také z vodojemu Habrovany. Vodojem Rousínov má objem $2 \times 650 \text{ m}^3$, kóta maximální hladiny je ve výšce 305,0 m n.m., kóta dna je o 5 m níže. Vodojem Rousínov je po rekonstrukci, která proběhla zhruba před 6 lety.

Malý zemní vodojem Holubice je zásobený také z Opatovické přehrady. Objem nádrží vodojemu Holubice je $2 \times 250 \text{ m}^3$, kóta maximální hladiny je ve výšce 280,0 m n.m., kóta dna je o 3,6 m níže. Vodojem Holubice je také po rekonstrukci, která proběhla před 6 lety.

Navržená metodika byla pro oba vodojemy ověřována pro vybraný nežádoucí stav *05 – porušení/destrukce stavební konstrukce manipulační komory*. Vstupní

data jak z vodojemu Rousínov, tak z vodojemu Holubice byla získána osobní prohlídkou obou vodojemů a konzultacemi s projektantem obou vodojemů.

2.2 Databáze prvků systému

Pro provádění analýzy rizik je každý systém zásobování vodou nebo prvek systému (zdroj, úprava, distribuce a přípojky) popsán a rozdělen na jednotlivé části. Konkrétně u vodojemu, který je základním prvkem distribučního systému obsahuje jeho deskripce dva hlavní prvky (akumulační nádrž a manipulační komoru) a 16 dílčích prvků např. potrubí, odvětrání objektu, vystrojení, ovládání a signalizace jednotlivých zařízení, komunikační kanály, monitoring kamerový a zabezpečovací systém apod. Uživatel, který rizikovou analýzu bude provádět si může doplnit další vlastní dílčí prvky vodojemu.

2.3 Identifikace nebezpečí a rizikových faktorů

Vzhledem k tomu, že na vodojemech, kde byla navržená metodika pro rizikovou analýzu aplikována se vycházelo ze současného stavu objektu, byly nejdříve definovány projevy nežádoucího stavu 05 – poškození/destrukce stavební konstrukce manipulační komory a až poté se určila po konzultaci s vedoucím projektantem možná nebezpečí z katalogu nebezpečí, která mohly nežádoucí stav 05 způsobit.

Pro velký zemní vodojem Rousínov byla vybrána z kategorie přírodních nebezpečí tato: přívalový déšť, sníh, kroupy, led, námraza a podzemní voda (agresivní složení). Z kategorie společenských nebezpečí nedostatečná nebo nevhodná údržba a z kategorie technických a technologických nebezpečí pak porucha dodávky el. proudu (absence záložního zdroje), porucha zařízení, nevhodné chemické či fyzikální vlastnosti stavebních materiálů, skrytá stavební vada nebo konstrukční závada a stárnutí materiálu.

Pro malý zemní vodojem Holubice to byla z kategorie nebezpečí přírodních a společenských, nebezpečí stejná jako v případě vodojemu Rousínov, v kategorii nebezpečí technických a technologických se uvažovalo pouze s poruchou dodávky el. proudu (absence záložního zdroje), s poruchou zařízení, se skrytou stavební vadou nebo konstrukční závadou a stárnutím materiálu.

2.4 Nežádoucí stav

Pro vodojem bylo v navrženo 5 nežádoucí stavů a sice:

- Porušení/Destrukce stavební konstrukce akumulční nádrže vodojemu
- Zhoršení kvality vody v akumulční nádrži vodojemu
- Kontaminace vody v akumulční nádrži vodojemu

- Akumulace sedimentů na dně akumulární nádrže vodojemu
- Porušení/Destrukce manipulační komory vodojemu

Na vodojemech byla navržena metodika pro rizikovou analýzu vodojemů aplikována pouze na nežádoucí stav 05 – porušení/destrukce stavební konstrukce manipulační komory. Projevy, které daný nežádoucí stav vyvolaly byly například navlhání betonové konstrukce stěn manipulačních komor obou vodojemů, poškození odvodňovacího chodníku, zvyšování vlhkosti dna manipulačních komor, tvorba vodního kamene na vnitřních a vnějších omítkách, kondenzace vzdušné vlhkosti na chladném potrubí, opadávání omítek, nestejnorožé sedání manipulačních komor a akumulárních nádrží, chybějící izolace. U vodojemu Holubice to byl navíc i projev nežádoucího stavu zanášení větracích otvorů.



Obr 1. Projev nežádoucího stavu 05 – navlhání betonové konstrukce

2.5 Stanovení pravděpodobnosti vzniku NS

Pravděpodobnost vzniku nežádoucího stavu 05 – porušení/destrukce stavební konstrukce manipulační komory vodojemu P_{NS5} byla hodnocena dle faktorů nežádoucího stavu a na základě možných nebezpečí z katalogu nebezpečí.

Vodojem Rousínov, který charakterizovalo 19 faktorů nežádoucího stavu vycházejících z 9 nebezpečí byla pravděpodobnost vzniku nežádoucího stavu zařazena do kategorie K2, která značí střední míru vzniku nežádoucího stavu.

Vodojem Holubice, který charakterizovalo 15 faktorů nežádoucího stavu vycházejících z 8 nebezpečí byla pravděpodobnost vzniku nežádoucího stavu zařazena taktéž do kategorie K2 značící střední míru vzniku nežádoucího stavu 05 – porušení/destrukce stavební konstrukce manipulační komory. Na ohodnocení pravděpodobnosti vzniku nežádoucího stavu dle funkčního předpisu:

$$\Sigma_{\max} = 100 \%$$

a zařazení do jedné ze tří kategorií (K1 až K3) měly vliv ty faktory, jejichž bodové ohodnocení bylo nejvyšší. U obou vodojemů byl nejvyšší počet bodů na

jeden faktor 2 body (stupnice je v rozsahu 0 až 3 body). Faktory hodnoceny 0 nebo 1 bodem neměly na stanovení pravděpodobnosti vzniku nežádoucího stavu vliv.

2.6 Stanovení následků NS – analýza následků

Následky plynoucí z nežádoucího stavu 05 – porušení/destrukce stavební konstrukce manipulační komory vodojemu N_{NS5} byly hodnoceny na základě subjektivního dojmu dle stavu manipulační komory vodojemů. Obecně jsou následky rozděleny do čtyř skupin

- zdravotní
- ekonomické
- sociálně ekonomické
- environmentální

Pro nežádoucí stav 05 – porušení/destrukce stavební konstrukce manipulační komory byly hodnoceny následky pouze ve skupině ekonomické a sociálně ekonomické.

Vodojem Rousínov byl hodnocen jako součást komplexního systému. O tom, o jaký systém se jedná (jednoduchý nebo komplexní) rozhodují 4 kritéria (počet připojených obyvatel, počet přípojek, délka sítě a objem vody vyrobené k realizaci). Na základě analýzy četnosti nežádoucího stavu 05 – porušení/destrukce stavební konstrukce manipulační komory zařazen do kategorie K2 (střední míra vzniku nežádoucího stavu). Potom ekonomické následky byly také zařazeny úměrně danému stavu do kategorie K2 a sice, že náklady na opravu se pohybují v rozmezí 200 000 až 2 000 000 korun. Následky sociálně ekonomické (následky způsobené třetí osobě) byly zařazeny rovněž do kategorie K2, kdy se předpokládá přerušování dodávky pitné vody v rozmezí od 1 do 12 hodin.

Vodojem Holubice byl hodnocen jako součást jednoduchého systému a na základě analýzy četnosti nežádoucího stavu 05 – porušení/destrukce stavební konstrukce manipulační komory zařazen do kategorie K2 (střední míra vzniku nežádoucího stavu). Ekonomické následky byly zařazeny úměrně danému stavu do kategorie K2 a sice, že náklady na opravu se pohybují v rozmezí 30 000 až 300 000 korun. Následky sociálně ekonomické byly rovněž zařazeny do kategorie K2, kdy se předpokládá přerušování dodávky vody od 1 do 12 hodin.

2.7 Kvantifikace rizika

Hodnocení rizika nežádoucího stavu R_{NS} se provádí pomocí kombinace hodnocení pravděpodobnosti vzniku nežádoucího stavu P_{NS} a hodnocení jednotlivých kategorií následků N_{NS} – viz. obr.2, ze které vzejde riziková matice 3

x 3, kde sloupce představují kategorie hodnocení celkových následků a řádky kategorie hodnocení pravděpodobnosti vzniku nežádoucího stavu – viz. obr.3. Výsledné riziko je stanoveno jako nejhůře ohodnocená kombinace pravděpodobnosti vzniku NS a jednotlivých skupin následků.

Vstupními daty pro kvantifikaci rizika byla pravděpodobnost vzniku nežádoucího stavu zařazena dle ohodnocení do kategorie K2 (středně vysoká míra vzniku NS5) a dvě skupiny následků, ekonomické zařazené dle hodnocení do kategorie K2 a následky sociálně ekonomické zařazené rovněž do kategorie K2.

$$R_{NS5} = P_{NS5} \cdot N_{NS5}$$

N_{NS5}
0
K2
K2
0

Obr 2. Vztah pro kvantifikaci rizika

kde R_{NS5} - riziko plynoucí z 5-tého nežádoucího stavu
 P_{NS5} - pravděpodobnost vzniku 5-tého nežádoucího stavu
 N_{NS5} - následky 5-tého nežádoucího stavu

kde

- 0 - značí skupinu následků, která není hodnocena (zdravotní, environmentální)
- K2 - jsou skupiny následků hodnoceny kategorií K2 (ekonomické, sociálně ekonomické)

2.8 Výsledky aplikace navržené metodiky pro RA

Na základě vstupních údajů hodnocení pravděpodobnosti vzniku nežádoucího stavu 05 – porušení/destrukce stavební konstrukce manipulační komory a hodnocení následků, které z daného nežádoucího stavu plynou bylo riziko plynoucí z tohoto nežádoucího stavu pro oba vodojemy ohodnoceno kategorií K2, která značí středně vysoké riziko.

		Nejhůře hodnocené následky
	<i>kategorie</i>	K2
Nejhůře hodnocená pravděpodobnost	K2	PORUŠENÍ/DESTRUKCE STAVEBNÍ KONSTRUKCE MANIPULAČNÍ KOMORY

Obr 3. Zpracování konečných výsledků

3. Závěr

Využití metody FMEA pro stanovení a ohodnocení rizika subsystémů a prvků veřejných systémů zásobování pitnou vodou je v rámci projektu WaterRisk v souladu s časovým harmonogramem jeho řešení průběžně vyvíjena a upřesňována právě na základě testování na konkrétních lokalitách.

Přesto, že při testování této metodiky na výše uváděných vodojemech nebyla k dispozici všechna potřebná data je na základě získaných poznatků a výsledků možno konstatovat, že může být nástrojem pro analýzu rizik vodojemů.

4. Literatura

ČSN IEC 812, Metody analýzy spolehlivosti systému – Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA), Praha, Český normalizační institut, 1992

Papírník, V., Identifikace nebezpečí a analýza rizik vodárenských distribučních systémů – diplomová práce, červen 2007

Tuhovčák, L., Ručka, J.: Hazard identification and risk analysis of water supply system, proceedings from LESAM 2007, IWA leasing edge conference, 10/2007

Tuhovčák, L., Ručka, J., Kožíšek, F., Mergl, V.: Identifikace, kvantifikace a řízení rizik veřejných systémů zásobování pitnou vodou – projekt WaterRisk, časopis SOVAK, vydání 7-8/2007, p 50-53

Tuhovčák, L., Kožíšek, F., Ručka, J., Juhaňák, T.: Identifikace a kvantifikace rizik vodárenských systémů – projekt WaterRisk, sborník konference Rizika ve vodním hospodářství 2007, Brno 11/2007

Vyhláška MZdr ČR č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, MZdr ČR, 5/2004

Vyhláška MZdr ČR č. 409/2005 Sb., o hygienických požadavcích na výrobky přicházejících do přímého styku s vodou a na úpravy vody, MZdr ČR, 9/2005

www.WaterRisk.cz – oficiální webové stránky projektu 2B06039 - WaterRisk