

Analýza rizik vodárenských distribučních systémů

Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.

Ing. Jan Ručka, Ing. Miroslav Svoboda

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí

Žižkova 17, Brno, tel.: +420 54114 7721, e-mail: tuhovcak.l@fce.vutbr.cz

Úvod

Zajištění bezpečné dodávky pitné vody závisí na mnoha faktorech, jako jsou kvalita surové vody, efektivita její úpravy a integrita distribuční sítě. Ve stávající vodohospodářské praxi je při návrhu a provozu vodárenských systémů velmi často využíváno metod matematického modelování, zřídka se však aplikuje teorie analýzy rizik.

Analýza rizik vodárenských systémů má v zahraničí relativně krátkou minulost a v ČR je na samém počátku, kdy jsou využívány zkušenosti, metody a poznatky z jiných průmyslových odvětví. Vlivem extrémních povodní, které zasáhly střední Evropu v letech 1997 a 2002, začala být v ČR věnována zvýšená pozornost problematice zabezpečení dodávky pitné vody během krizových situací. Dalším významným impulsem pro implementaci teorie rizik při návrhu, výstavbě a provozu vodárenských systémů jsou poruchy jednotlivých prvků systémů zásobování pitnou vodou a především pak ohrožení a zásahy do systému zvenčí. Zejména po událostech 11. září 2001 v USA dochází zvláště u velkých městských aglomerací a rozsáhlých vodárenských soustav k formulaci a návrhům řešení otázek souvisejících s odhadováním, posuzováním a řízením rizik při zásobování obyvatelstva pitnou vodou.

V časovém horizontu několika let se v zemích EU předpokládá přijetí nové směrnice o pitné vodě, jejíž znění se v současné době připravuje. Tato směrnice nahradí stávající Směrnicí Rady 98/83/ES a uloží provozovatelům vodovodů povinnost vytvářet pro své vodovody plány zabezpečení dodávky pitné vody - Water Safety Plans, které jsou založeny na principech analýzy a řízení rizik [7].

Rizika je důležité rozdělit na tzv. kvantitativní a kvalitativní. Kvantitativní riziko v procesu zásobování pitnou vodou představuje především nedostatek, resp. přerušení dodávky pitné vody (water supply interruption). Kvalitativní riziko představuje především špatná jakost pitné vody (water quality), pro jejíž zjišťování je třeba implementovat do výrobního procesu pitné vody metodu analýzy rizik, která bude mít kvalitu vody neustále pod kontrolou.

Analýza rizik

Žádná obecně platná definice rizika neexistuje. Podle obvyklého slovníkového významu je riziko „vyhlídka na špatné následky“. V inženýrských oborech zní srozumitelně technická definice: „Riziko je možnost výskytu nežádoucích následků z neovládané (neřízené) události“. V obou výše uvedených pokusech definovat riziko, se v zásadě objevují dvě hlavní složky:

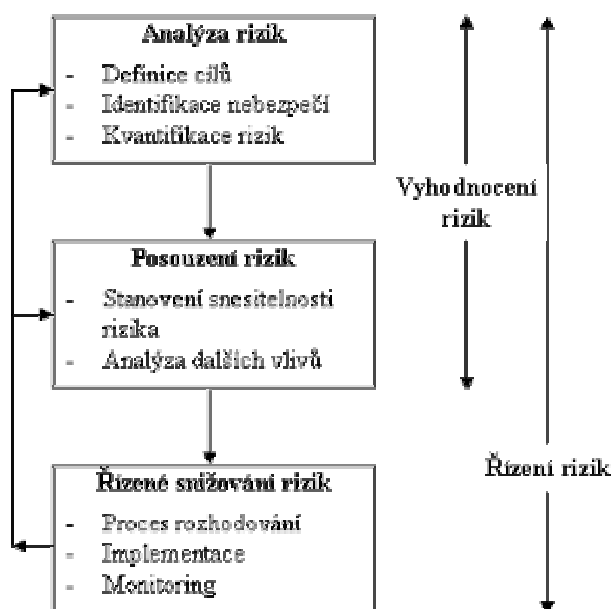
- výskyt nežádoucích následků a
- pravděpodobnost (frekvence) s jakou tyto následky nastanou.

Termín riziko lze chápat jako kombinaci četnosti nebo pravděpodobnosti výskytu specifikované nežádoucí události a jejích následků. Pro potřebu kvantifikace rizika jej vyjadřujeme symbolickým vztahem:

$$R = P \times C \quad (1)$$

Kde R vyjadřuje hodnotu (míru) rizika, P představuje četnost (nebo také pravděpodobnost) výskytu nebezpečí (nežádoucího stavu) a C představuje následky tohoto nežádoucího stavu. Nežádoucí následky a nejistota s nimi spojená jsou považovány za dvě hlavní složky rizika.

Riziková analýza obecně představuje systematické využívání dostupných informací k identifikaci možných nebezpečí a ke kvantifikaci rizik, které z těchto nebezpečí plynou a její obecný postup je standardizován normou ČSN IEC 300 [1]. Jedná se tedy o preventivní přístup, kdy jsou jednotlivé nebezpečné scénáře aktivně vyhledávány, analyzovány a posuzovány s ohledem na škody způsobené jednotlivcům, populaci, právním subjektům, životnímu prostředí atd.

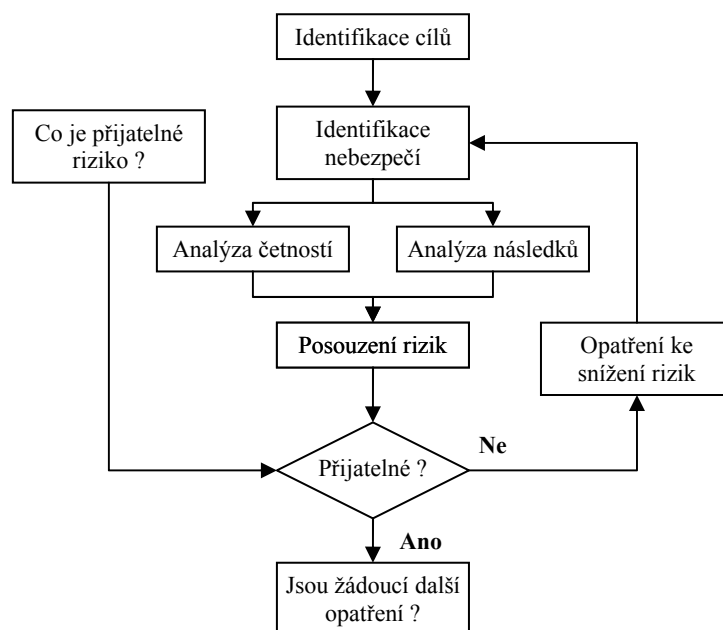


Obr.1 Vyhodnocení a řízení rizik (ČSN IEC 300)

Analýza rizik tvoří jednu ze součástí systému řízení rizik, viz. **Obr.1**. Je to strukturovaný proces, který se pokouší odpovědět na tři základní otázky:

<i>Co by se mohlo pokazit?</i>	(Identifikací nebezpečí)
<i>S jakou pravděpodobností se to stane?</i>	(Analýzou četností)
<i>Jaké budou následky?</i>	(Analýzou následků)

Ke zodpovězení těchto otázek se využívají metody identifikace rizik, analýzy četností a analýzy následků. Vzájemnou návaznost těchto procesů zobrazuje **Obr.2**.



Obr.2 Riziková analýza a proces vyhodnocení rizik (ČSN IEC 300)

Metody analýzy rizik

V současné době je již řada metod pro provádění rizikové analýzy technologických systémů, které jsou vhodné pro identifikaci nebezpečí a pro odhad rizika spolu s kritérii jejich volby. Obecně by však mělo platit, že vhodná metoda:

- má být vědecky obhajitelná a vhodná pro uvažovaný systém;
- má poskytovat výsledky ve tvaru, který zlepšuje pochopení povahy rizika a způsobu, jakým ho je možné regulovat;
- má být způsobilá k tomu, aby ji mohli používat různí profesionálové tak, aby byla sledovatelná, opakovatelná a ověřitelná.

V dalším textu se zaměříme pouze na dvě metody, které jsou pro účel analýzy rizik systémů zásobování vodou zvláště vhodné. Jsou jimi FMEA/FMECA a HACCP.

FMEA/FMECA

Analýza způsobů a důsledků poruch (FMEA) a analýza způsobů, důsledků a kritičnosti poruch (FMECA) jsou metodami analýzy spolehlivosti, které umožňují identifikaci poruch s významnými důsledky ovlivňujícími funkci systému. Obecný postup metod FMEA i FMECA je standardizován normou ČSN IEC 812 [2]. Obě metody jsou velmi dobře použitelné pro analýzu technických systémů. Vycházejí z určité konstrukční úrovně, např. úrovně prvku nebo systému, pro niž jsou k dispozici kritéria poruchy (prvotní způsoby poruch). Vychází z charakteristik poruchy základního prvku a z funkční struktury systému a stanoví vztah mezi poruchami prvku a poruchami systému, selháními funkce, provozními omezeními a degradací provozuschopnosti nebo celistvosti systému. Rozšířením FMEA je uvážení kritičnosti poruchy. Tato analýza kritičnosti identifikovaných způsobů poruch je nazývána FMECA. Závažnost následků poruchy se popisuje kritičností, přičemž se stanoví několik tříd nebo úrovní kritičnosti. FMEA i FMECA jsou induktivní metody, které umožňují 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 a definování kritičnosti (FMECA).

Analýza začíná výběrem prvku nejnížší zvolené úrovně, pro kterou je k dispozici dostatek informací. Na této nejnížší úrovni se sestaví do tabulky různé způsoby poruch, které na této úrovni mohou u každého prvku nastat. Prvky jsou posuzovány jednotlivě a po řadě a důsledek poruchy každého z nich je považován za způsob poruchy při zvažování jejích důsledků na sousední vyšší hladině. 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.

HACCP

HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points - Analýza nebezpečí a kritické kontrolní body ve výrobě) je metoda řízení rizik, která je běžně používána zejména v potravinářském průmyslu. Jejím cílem je zajistit požadovanou jakost a bezpečnost produktu nepřetržitou kontrolou během výroby. Předem vybrané ukazatele jakosti jsou monitorovány v kritických kontrolních bodech (CCP), kde se vyhodnocují stanovená kritéria (kritické limity), což výrobci umožňuje reagovat na změnu kvality účinným opatřením okamžitě ještě v průběhu výroby (v reálném čase) a vyvarovat se tak produkci jakostně nevyhovujícího výrobku. V současné době je to nejefektivnější způsob řízení jakosti výroby a výrobci potravin jej musí do své výroby implementovat a používat jej na základě platné legislativy EU a ČR. Podobný přístup je v posledních letech zaváděn i u vodárenských společností.

Před samotnou implementací systému HACCP musí být provedena analýza rizik konkrétního vodárenského systému, kdy jsou vyhodnoceny potenciální nebezpečí, která mohou negativně ovlivnit zdravotní nebo hygienickou nezávadnost pitné vody během výroby, zpracování, uchovávání, distribuce a konzumace. Zde se analyzuje zdroj vody a povodí, surová voda, chemikálie pro úpravu surové vody, technologické postupy na úpravě vody, provádí se rozbor pitné vody a analýza distribuční sítě a vodojemů.

Světová zdravotnická organizace (WHO) vyvinula nástroj pro řízení jakosti při výrobě a distribuci pitné vody nazvaný Water Safety Plans – (WSP) [7]. Podstata WSP spočívá právě na principech HACCP. Cílem WSP je minimalizovat rizika s využitím metod analýzy a řízení rizik. S velkou pravděpodobností se dá předpokládat, že v budoucnosti budou mít i čeští výrobci vody zákonnou povinnost implementovat HACCP a vytvářet WSP. Některé vodárny v ČR (např. PVK, a.s.) a zejména ve světě (např. Zurich, Paříž, Tullen a další) již tento přístup částečně do výroby pitné vody zavedly a používají [6].

Analýza rizik vodárenských distribučních systémů

Riziková analýza systémů zásobování vodou (SZV) má některá svá specifika, která vyplývají z povahy samotného systému. Rizika, která se mohou v SZV vyskytnout, můžeme členit podle místa výskytu, původu nebezpečí a struktury následků [4].

Struktura rizik systému zásobování vodou

V současné době je celosvětově preferován přístup zajišťující kvalitu vody od zdroje až po kohoutek spotřebitele, který do české legislativy implementuje vyhláška MZdr ČR č. 252/2004 Sb. Pro provedení analýzy a řízení rizik je proto celý SZV rozdělen do čtyř samostatných technologických částí, které jsou analyzovány odděleně. V každé z uvedených částí systému jsou analyzovány scénáře a nebezpečí, které v ní přímo vznikají či působí nebo se následky jejich působení propagují z předchozího

článku SZV (např. doběh chemických reakcí z úpravny v distribuční síti). Tyto technologické subsystémy jsou:

- Zdroj vody a jeho ochranné pásmo,
- Úprava vody,
- Distribuční systém (akumulace, čerpání a distribuční síť),
- Přípojky a domovní rozvody.

V případě zdrojů vody je nutno podotknout, že provozovatel vodovodu může mít v některých případech velmi omezené možnosti řídit rizika např. u povrchových zdrojů (otázka integrovaného přístupu). Rovněž u přípojek a domovních rozvodů, které jsou v majetku vlastníků připojených nemovitostí, má provozovatel vodovodu velmi omezené možnosti jak případné rizika ovlivnit.

Všechna nebezpečí, která se mohou podílet na realizaci nebezpečného scénáře dělíme podle původu jejich vzniku do třech základních kategorií:

- Přírodní nebezpečí (povodně, sucha, přívalové deště, vichřice, zemětřesení atd.),
- Lidský faktor – úmyslné (terorismus, sabotáž) a neúmyslné (neznalost, nedbalost),
- Technické a technologické poruchy – (selhání techniky, poruchy, stárnutí materiálu).

Celkové následky vyjadřujeme jako kombinaci čtyřech dílčích složek následků, které byly voleny s ohledem na povahu následků, které se očekávají při obvyklém způsobu provozování vodárenských systémů v podmínkách ČR a podmínkách podobných. Jsou to následky:

- Zdravotní,
- Ekonomické,
- Socio-ekonomické,
- Enviromentální.

Každá z kategorií následků může mít různé dimenze, podle kterých budou následky vyhodnocovány. Pro ilustraci uvádíme dimenze zdravotních následků, dimenze ostatních kategorií následků pro nedostatek prostoru neuvádíme. Jsou jimi např.:

- Nevyhovující jakost vody (nedodržení předepsaného ukazatele, kontaminace),
- Míra překročení stanovených limitů (koncentrace),
- Počet ohrožených odběratelů (zasažená plocha),
- Informovanost - zda je nevyhovující kvalita známa či ne (doba expozice),
- Škody na zdraví a životech lidí.

V souvislosti s řízením rizik se často používá termín „kvalitativní a kvantitativní riziko“. Jejich význam souvisí s výše uvedenou strukturou rizik.

- Kvalitativní rizika – termín zahrnující rizika spojená s nevyhovující kvalitou vody. Dominantní jsou zdravotní a ekonomické následky.
- Kvantitativní riziko – riziko nedodání vody v požadovaném množství nebo tlaku. Významné jsou socio-ekonomické a ekonomické následky.

Výše zmíněnou strukturu rizik SZV znázorňuje **Obr.3.**

Technologická část	Původci nebezpečí	Kategorie následků
Zdroj vody (ochr.p.)	Přírodní nebezpečí	Zdravotní
Úprava vody	Lidský faktor	Ekonomické
Distribuční síť	Technické poruchy	Socio-ekonomické
Přípojky a domovní rozvody		Enviromentální

Obr.3 Struktura rizik systému zásobování vodou

Konkrétní nasazení výše popsané metodiky analýzy rizik se pokusíme ukázat na krátké případové studii.

Případová studie – XFMEA

Výše popsaná metodika analýzy rizik byla otestována na konkrétní lokalitě malé obce [3]. K testování byl použit software XFMEA, jehož demo-verzi autorům na dobu testování bezplatně zapůjčil jeho dodavatel firma Reliasoft. XFMEA je softwarový prostředek používaný pro rizikovou analýzu technologických procesů, který je založen na principu výše zmíněné metody FMEA. V této případové studii byl použit pouze pro vyhodnocení rizik způsobených technickými poruchami vodovodních řadů. Šlo tedy o jakousi zúženou podmnožinu rizik v rámci celé definované struktury rizik SZV.

S využitím podkladů dostupných u provozovatele vodovodu bylo vybráno několik faktorů, které mají bezprostřední vliv na riziko a na jejich základě byla provedena riziková analýza. Jednalo se o:

Stáří potrubí pro jednotlivé materiály (roky)

Hydrostatický tlak (m.v.sl.)

Kolísání hydrostatického a hydrodynamického tlaku (m.v.sl.)

Zatížení potrubí, způsob a hloubka uložení

Teoretická poruchovost

Typ spoje

Hodnoty každého faktoru potřebujeme znát pro každý posuzovaný prvek systému. Pro každý faktor je nutno stanovit stupnici ohodnocení, která umožní převod do kategorií 1 (nejlepší stav) až 10 (nejhorší stav). Do dalšího výpočtu vstupuje pro každý faktor a každý prvek již jen číslo kategorie z intervalu <1,10>.

Aplikace XFMEA pracuje na principu vyhodnocování tzv. Risk Priority Number (RPN), které kvantifikuje riziko, což není v zásadním rozporu s výše popsanou definicí rizika. RPN se vypočítá pro každý posuzovaný prvek systému zvlášť jako součin frekvence, následků a obtížnosti detekce poruchy prvku. Tyto tři vstupy se stanoví z jednotlivých faktorů a jejich hodnoty se volí z intervalu <1,10> na základě statistických analýz, zkušeností obsluhy, historických záznamů, výstupů z GIS atd.

Nejrizikovější prvek pak bude mít $RPN = 10^3$, zatímco prvek s nejnižším rizikem bude mít $RPN = 1^3$. Příklad vstupní hodnoty pro jeden prvek systému znázorňuje **Tab.1**

Tab. 1 Tabulka vstupních hodnot pro jeden prvek distribučního systému

úsek 45						
Faktor / hodnocení	Materiál / Stáří (roky)	HS tlak (m.v.sl.)	Kolísání HS - HD tlaku (m.v.sl.)	Zatížení, způsob a hloubka uložení	Teoretická poruchovo-st	Typ spoje
Následky	3	2	2	1	1	1
Frekvence	1	10	4	5	1	5
Detekce	5	2	3	3	3	2

Analýza pokračuje stanovením a vyhodnocením RPN pro každý prvek posuzovaného systému. Je tedy možno porovnat *míru rizika* jednotlivých vodovodní řadů. Zároveň je možno simulovat, jak se projeví případná změna faktorů, které mají vliv na hodnocení posuzovaného nežádoucí stavu - poruchy vodovodního řadu. Jde tedy již o proces *řízení rizika*.

Závěr

Implementace teorie a metod analýzy a řízení rizik se začíná uplatňovat ve stále širším spektru lidských činností. Např. hlavním tématem Světového ekonomického fóra letos v Davosu byla analýza rizik v socio-ekonomických systémech se zaměřením zejména na těžko předvídatelná rizika. V oblasti vodního hospodářství je již tato metoda běžně používána při sestavování tzv. „rizikových map“ území při potencionálních záplavách různého rozsahu. V oblasti zásobování pitnou vodou však využívání tohoto přístupu teprve začíná. V rámci 6.Rámcového programu Evropské unie bylo v letošním roce zahájeno řešení mezinárodního vědeckovýzkumného projektu *Techneau* (www.techneau.org), kde problematice analýzy rizik je věnována celá jedna pracovní oblast (WA4). Členem řešitelského týmu tohoto rozsáhlého výzkumného projektu je i Státní zdravotní ústav.

Ústav vodního hospodářství FAST VUT v Brně se začal této problematice intenzivně věnovat. Účast v mezinárodním programu COST C19 *Proactive crisis management of urban infrastructure* umožňuje získávat aktuální poznatky z této oblasti u zahraničních partnerů. V rámci Národního programu výzkumu II pak společně se Státním zdravotním ústavem a Vodárenskou akciovou společností, a.s. připravil návrh projektu *WaterRisk*, který je zaměřen na vývoj metodiky implementace analýzy rizik u veřejného zásobování pitnou vodou. Cílem navrhovaného projektu je navrhnout metodiku tvorby Water Safety Plans v podmínkách ČR v návaznosti na připravovanou novou směrnici EU o pitné vodě, jejíž první návrh je již k dispozici. Bylo by žádoucí, aby tyto aktivity podpořily nejen státní orgány, ale i vlastníci a provozovatelé vodohospodářské infrastruktury sdružení v SOVAK.

Literatura

- [1] ČSN IEC 300, Management spolehlivosti- Analýza rizika technologických systémů, Praha, Český normalizační institut, 1996
- [2] ČSN IEC 812, Metoda analýzy spolehlivosti systému – Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA)
- [3] Juhaňák, T.: Analýza rizik vodárenských distribučních systémů, diplomová práce na ÚVHO FAST VUT v Brně, 2005, Brno
- [4] Tuhovčák, L., Ručka, J.: Risk Analysis of Water Distribution Systems, NATO Advanced Research Workshop " Security of Water Supply Systems: From Source to Tap", 2005 Murter, Chorvasko, ISBN 1-4020-4563-8
- [5] Vatn, J.: Risk management within water supply, electricity and transport; proceedings from seminar Proactive Crisis Management of Urban Infrastructure, Trondheim, 2004
- [6] WeKnow – Web-based European Knowledge Network on Water, EU FP5 No. EVK1-CT-2002-20004, conference proceedings from 2nd WeKnow conference on Drinking Water, Bratislava, 2005
- [7] World Health Organization, WHO Guidelines for drinking-water quality 3rd edition, WHO Geneva, 2004, ISBN 92 4 154638 7