

KVANTIFIKACE RIZIK VYBRANÝCH NEŽÁDOUCÍCH STAVŮ NA ZDROJÍCH A ÚPRAVNÁCH VOD

**Ing. Tomáš Kučera, Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.,
Lukáš Anderle, Radek Zlesák**

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí,
Žižkova 17, 602 00 Brno, kucera.t@fce.vutbr.cz, tuhovcak.l@fce.vutbr.cz

Problematika kvantifikace rizik nežádoucích stavů na zdrojích a úpravnách vod je řešena v rámci výzkumného projektu Waterrisk jako součást zpracování „Metodiky analýzy rizik jednotlivých základních částí systémů zásobování pitnou vodou od zdroje surové vody po spotřebitele“. Příspěvek navazuje jednak na dříve uveřejněné prezentace a také na další příspěvky projektu Waterrisk uveřejněné v tomto sborníku. Jsou uvedeny konkrétní pasáže metodiky týkající se zdrojů a úpraven vody. Teoretický základ a nutná souvislosti jsou uvedeny v předcházejících příspěvcích.

Struktura systému

Zdroje vody a úpravny vody byly jako dva základní subsystémy systému zásobování pitnou vodou dekomponovány na jednotlivé prvky. V rámci technologických částí jsou rozlišovány tři úrovně prvků: prvek základní úrovně, prvek podrobné úrovně, typ zařízení.

U zdrojů vody jsou rozlišovány dva prvky základní úrovně: podzemní a povrchové zdroje. Na úrovni prvků podrobné úrovně pak rozlišujeme: povodí, ochranné pásmo, vlastní jímadlo, technologické vybavení/vystrojení, stavební objekty, příslušenství a jiné prvky. Každý z těchto prvků je dále členěn na jednotlivé typy zařízení, např. vystrojení: čerpadlo, potrubí, armatury, protirázová ochrana, ...

Úpravny vody byly rozděleny na šest prvků základní úrovně, kde tři jsou klíčové: předúprava, úprava, douprava a tři podružné: kalové a chemické hospodářství, příslušenství a stavební objekty. Prvky podrobné úrovně jsou v případě úpraven uvažovány následující:

1. předúprava: mechanické předčištění vody, aerace (pro odkyselení, oxidaci, odplynění), odkyselování vody, oxidace, koagulace, homogenizace, vločkování, jiný;
2. úprava: sedimentace, filtrace, flotace, separace vločkovým mrakem, membránové procesy, jiný;
3. douprava: dezinfekce, odpachování, ztvrdování, fluorizování, jiný;
4. kalové hospodářství: zahušťování, odvodňování, jiný;
5. chemické hospodářství: skladování, příprava, dávkování, jiný;
6. příslušenství: vedení, akumulace, čerpání, manipulační zařízení, ovládání, signalizace, telemetrie, měření a monitoring, kamerový a zabezpečovací systém, záložní zdroj el. energie, jiný.

Nežádoucí stavy, pro které je prováděna analýza rizik, lze definovat zvlášť pro každý prvek základní i podrobné úrovně nebo pro celou technologickou část.

Nežádoucí stavy

Pro zdroje a úpravný vody, které jsou značně rozsáhlé subsystémy samy o sobě (ať už plošně nebo technicky), je možné vyjmenovat celou řadu nežádoucích stavů (dále NS). Do základního katalogu nežádoucích stavů projektu byly po diskusi a projednání s partnery projektu zařazeny a dále rozpracovány následující nežádoucí stavy:

Vodní zdroje (celek)

DNS111_Porucha technologického vybavení/vystrojení jímacího objektu

DNS112_Porucha na přiváděcím potrubí surové vody

Podzemní vodní zdroje

NS101_Zhoršení kvality surové vody

NS102_Nevyhovující kvalita surové vody

NS103_Kontaminace surové vody chemickým znečištěním

NS104_Kontaminace surové vody biologickým znečištěním

NS105_Nedostatečná kapacita, přetížení zdroje

Povrchové vodní zdroje

NS106_Zhoršení kvality surové vody

NS107_Nevyhovující kvalita surové vody

NS108_Kontaminace surové vody chemickým znečištěním

NS109_Kontaminace surové vody biologickým znečištěním

NS110_Nedostatečná kapacita, přetížení zdroje

Úpravna vody (celek)

NS201_Nedostatečný výkon

NS202_Porucha dávkování chemikálií

NS203_Nízká účinnost v mikrobiologických a biologických ukazatelích

NS204_Nízká účinnost v ukazatelích s limitem MH

NS205_Nízká účinnost v ukazatelích s limitem NMH

DNS206_Porušení/destrukce stavební konstrukce ÚV

Doúprava

NS207_Porucha zařízení pro hygienické zabezpečení

V rámci příspěvku prezentujeme implementaci zvolené metodiky odhadu rizika nežádoucího stavu pro jeden vybraný zatěžovací stav pro zdroj a úpravu vody. Pro každý nežádoucí stav je zpracován „katalogový list“.

NS102_Nevyhovující kvalita surové vody (podzemní zdroj)

Nežádoucí stav „NS102_Nevyhovující kvalita surové vody“ je platný pro podzemní zdroj vody. a je definován jako: “Během odběru vody dojde ke zjištění, že některé ukazatele jakosti pitné vody dle vyhlášky MZdr č. 252/2004 Sb. (ve znění pozdějších předpisů) byly překročeny. To potvrdí i následný kontrolní odběr. Nastalá situace vyžaduje okamžitý zásah provozovatele podzemního zdroje vody, možné je i odstavení zdroje“. Jeho vznik ovlivňuje následně úpravnu vody i distribuční systém.

Vznik NS mohou ovlivnit následující nebezpečí uvedená v katalogu potenciálních nebezpečí: problematika horninového prostředí; činnost vyšších živočichů; radioaktivita, radon; činnost mikroorganismů; obsluha; údržba; infekční choroby přenositelné vodou; zemědělské znečištění; těžba dřeva; průmyslové znečištění; důlní činnost; monitoring; stará ekologická zátěž; organizace práce, plánování, koordinace; kontrolní mechanismy.

V souvislosti s analýzou četností a stanovením pravděpodobnosti vzniku nežádoucího stavu jsou definovány následující rizikové faktory:

- F1 - překročení mikrobiologických a biologických ukazatelů;
- F2 - překročení fyzikálních, chemických a organoleptických ukazatelů;
- F3 - překročení povolených ukazatelů radonu;
- F4 - četnost odběrů a rozsah rozborů vzorků pitné vody;
- F5 - místa odběrů vzorků pitné vody

V případě faktoru „**F1 - překročení mikrobiologických a biologických ukazatelů**“ – překročení mezních hodnot (MH) a dosažení nejvyšších mezních hodnot (NMH) byla uvažována vazba na tato nebezpečí:

- činnost vyšších živočichů
- činnost mikroorganismů
- infekční choroby přenositelné vodou
- zemědělské znečištění

Jeden z možných scénářů vzniku NS, komentovaný v katalogovém listu, je následující: „Vlivem špatného nakládání s odpadními vodami, antropogenní činnosti dojde k úniku odpadních vod a infiltraci do horninového prostředí, které vede ke kontaminaci, jejíž rychlost a velikost je závislá na vlastnostech horninového prostředí a charakteristikách zvodnělého prostředí. Následkem toho dochází k překročení mezních hodnot (MH) a nejvyšších mezních hodnot (NMH) mikrobiologických a biologických ukazatelů pitné vody dle vyhlášky č. 252/2004 sb.

Hodnocení faktoru pro stanovení pravděpodobnosti nežádoucího stavu je uvedeno v následující tabulce.

Tabulka 1. Hodnocení faktoru F1 pro stanovení pravděpodobnosti nežádoucího stavu (metoda FMECA)

<i>Hodnotící stupnice – slovní popis</i>	<i>Bodové skóre</i>
Dosažení nebo překročení alespoň u jedné hodnoty ukazatele NMH	3
Překročení alespoň jedné hodnoty ukazatele MH; 90% přiblížení hodnoty NMH alespoň u jednoho ukazatele.	2
90% přiblížení MH alespoň u jednoho ukazatele.	1

Časová platnost analýzy četností je uvažována několik dnů až měsíců do provedení dalšího kontrolního odběru bez překročení mikrobiologických a biologických ukazatelů pitné vody.

Součástí katalogového listu je i analýza následků daného NS. V tabulce 2 uvádíme jako příklad analýzu zdravotních následků.

Hodnocení faktoru pro stanovení následků nežádoucího stavu je uvedeno v Tabulce 2.

Tabulka 2. Analýza zdravotních následků NS nevyhovující kvalita surové vody

<i>Hodnotící stupnice – slovní popis –</i>	<i>Bodové skóre</i>
<p>a) Prokazatelně dojde ke zhoršení organoleptických vlastností vody, voda se stane nepříjemnou pro větší počet spotřebitelů, nebo</p> <p>b) dojde k překročení limitu pro nouzové zásobování u chemického ukazatele s NMH, nebo</p> <p>c) dojde (dochází) k výraznému překročení limitu nebo k opakovanému překračování limitu u mikrobiologického ukazatele s NMH, nebo</p> <p>d) konzumace vody může způsobit onemocnění nebo úmrtí.</p>	3
<p>a) Dojde ke zhoršení organoleptických vlastností vody, které zaregistruje velký okruh spotřebitelů, nebo</p> <p>b) dojde k překročení limitní hodnoty u chemického ukazatele s NMH, ale není překročen limit pro nouzové zásobování, nebo</p> <p>c) dojde k překročení limitu pro nouzové zásobování u ukazatele s MH, nebo</p> <p>d) dojde (dochází) k občasnému menšímu překročení limitu u mikrobiologického ukazatele s NMH.</p>	2
<p>a) Dojde ke zhoršení organoleptických vlastností vody, které zaregistruje menší okruh spotřebitelů, nebo</p> <p>b) dojde k překročení limitní hodnoty u ukazatele s MH, ale není překročen limit pro nouzové zásobování, nebo</p> <p>c) dojde k mírnému zvýšení hodnot chemického ukazatele s nejvyšší mezní hodnotou (NMH), ale ještě ne k překročení NMH.</p>	1

NS201_Nedostatečný výkon (ÚV)

Nežádoucí stav „NS201_Nedostatečný výkon“ je popsán pro úpravny vody, jeho vznik následně postihuje distribuční systém a je popsán takto: „Během provozu vodovodní sítě dojde k nedostatečnému zásobení spotřebitelů vodou z důvodu nedostatečného výkonu úpravny vody nebo její části. Tato situace vyžaduje okamžité řešení, které svou délkou odpovídá faktoru vzniku tohoto nežádoucího stavu.“

Pro vznik tohoto nežádoucího stavu byla jako relevantní vybrána následující nebezpečí (nezávisle na uvedeném pořadí):

- hlavní: špatný technický stav objektu, potrubí, armatur; mechanická závada; nevyhovující hydraulická kapacita; porucha dodávky el.energie; porucha zařízení; neprůchodnost potrubí; obsluha; nesplnění závazků a smluv ze strany dodavatelů materiálu a služeb; kontrolní mechanismy; způsob provozování;
- vedlejší: činnost mikroorganismů; provozní dokumentace; nevhodné vlastnosti stavebních materiálů; organizace práce; sabotáž z řad zaměstnanců; terorismus, válka, hacking; vandalismus, krádež, vloupání; pád stromu.

V souvislosti s analýzou četností a stanovením pravděpodobnosti vzniku nežádoucího stavu jsou uvažovány rizikové faktory. Do seznamu byly zařazeny faktory působící bezprostředně, dlouhodobě, a to z kvantitativního i kvalitativního hlediska:

- F1 - porucha zařízení, výpadek nebo omezení dodávky vody ze zdroje, porucha klíčové armatury, porucha rozvodného potrubí, přerušení přívodu elektrické energie,
- kvalita surové vody, nedostatečný hydraulický výkon úpravní, selhání provozních subdodávek, vysoká poptávka ve spotřebišti, inkrustace potrubí, oživení vody (mikrobiologické znečištění).

Dále komentujeme v souvislosti s prezentovaným NS jeden z rizikových faktorů – „**porucha zařízení**“. Porucha zařízení je stav, při kterém dojde k porušení funkčnosti libovolného zařízení úpravní. Je nutné zapojení obtoků porouchané části pokud to lze, a následné hledání způsobů opravy poruchy. Faktor je provázán na definovaná nebezpečí:

- zásah bleskem, elektrický výboj; obsluha; způsob provozování; údržba; monitoring; sabotáž z řad zaměstnanců; terorismus, válka, hacking; vandalismus, krádež, vloupání; porucha zařízení; špatný technický stav objektu, potrubí, armatur.

Porucha zařízení zahrnuje všechny nepředvídané okolnosti, jejichž následkem zařízení nepracuje v předepsaných tolerancích během provozně významné doby. Rizikovost poruchovosti lze vyjádřit pomocí střední doby poruchovosti, což je podíl skutečné provozní doby tohoto zařízení ku délce trvání poruch. Toto časové období má zahrnovat alespoň pět nebo více poruch zařízení, aby byl takto obdržený údaj hodnověrný.

Závažnost poruchy se dá dále rozdělit pomocí dopadu na provoz celé úpravní vody:

- možnost nahrazení výpadku kapacity – zařízení je při poruše plně nahrazeno svou stoprocentní náhradou. Provoz úpravní není ovlivněn, porouchané zařízení je možné za plného provozu opravit.
- nemožnost nahrazení výpadku zařízení – porucha zařízení způsobí odstávku, nebo značné snížení výkonu, úpravní. Porucha zařízení nemůže být eliminována použitím jiné technologie, ať už z důvodu nepřítomnosti alternativní technologie, tak z důvodu neexistujícího propojení technologií.
- možnost nahrazení porouchaného zařízení použitím jiné technologie – zaměnitelnými technologiemi je myšlen např. náhradní způsob dávkování chemikálií; možnost záměny dávkované chemikálie (záložní) apod.

V havarijním plánu úpravní vody by měla být popsána nebezpečí poruch jednotlivých zařízení, které se mohou vyskytnout a postup jejich řešení.

Podobně jako u předchozího prezentovaného stavu jsou obsahem katalogového listu tohoto NS i tabulky pravděpodobností a tabulky analýza následků.

Použité metody rizikové analýzy

Pro analýzu rizik v případě zdrojů a úpraven vody (tak jako i v rámci celé metodiky projektu Waterrisk) jsou použity jako základní metody FMEA (analýza způsobů a důsledků poruch, Failure Mode and Effects Analysis) a FMECA (Analýza způsobů, důsledků a kritičnosti poruch, Failure Mode, Effects and Criticality Analysis), které jsou popsány blíže v souvisejících příspěvcích, a dále jako podpůrné jsou testovány a použity

metody FTA (Analýza stromu poruchových stavů, Fault Tree Analysis) a HAZOP (Studie nebezpečí a provozuschopnosti, Hazard and Operability Studies).

Metoda FTA je metoda založená na aplikaci stromů poruch a je používána k analýze předem definovaných druhů poruch, v našem případě nežádoucích stavů. Tato metoda identifikuje prvky, jejichž porucha by vyvolala definovaný druh poruchy systému. Tato metoda však pro stanovení míry pravděpodobnosti vzniku nežádoucího stavu sama osobě nestačí, slouží především pro znázornění logických vazeb na úpravě vody ke vzniku vrcholové události (nežádoucí stav).

Metoda HAZOP je systematická technika identifikování problémů týkajících se nebezpečí a provozuschopnosti v celém systému. U každého prvku systému je zvažováno, jaká odchylka od požadovaného stavu se u něj může vyskytnout a jaké by z toho mohly vzniknout následky. Použití této techniky je proto vhodné zejména pro analýzu rizika procesu úpravy vody a distribuční části systému zásobování vodou.

V případě úpraveny vody, které mohou často představovat dosti rozvětvený a provázaný systém, jsou pro analýzu rizik zkoušeny obě metody – FTA i HAZOP, které mohou sloužit jako podpora při identifikaci nebezpečí, podchycení vazeb jednotlivých prvků systému pro stanovení pravděpodobnosti nežádoucího stavu.

Metoda FTA byla přímo otestována v rámci případových studií projektu Waterrisk na ÚV Znojmo. Výsledky analýzy rizik metodou FTA na uvedené úpravě byly ve shodě s realitou, avšak náročnost zpracování rozsáhlých stromů poruchových stavů, které jsou tím rozvětvenější, čím rozvětvenější je analyzovaný systém (úpravna) a nutnost sestavení vlastních stromů poruchových stavů pro každý analyzovaný systém (a jeho součásti) vyloučili tuto metodu pro obecné použití v rámci zpracovávané metodiky. V současnosti je intenzivně testována metoda HAZOP, která se jeví jako aplikovatelnější pro danou problematiku.

Závěr

....

Literatura

1. ČSN IEC 61882 *Studie nebezpečí a provozuschopnosti (studie HAZOP) - Pokyn k použití*, Praha, Český normalizační institut, 1992.
2. ČSN IEC 812 *Metoda analýzy spolehlivosti systému – Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA)*, Praha, Český normalizační institut, 1992.
3. Votruba L., Heřman J. a kol.: *Spolehlivost vodohospodářských děl*, Praha: Česká matice technická, 1993, ISBN 80-209-0251-1.
4. Vyhláška MZdr ČR č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, MZdr ČR, 5/2004.
5. *Water Safety Plans. Managing drinking-water quality from catchment to consumer* (Plány pro zajištění bezpečnosti vody. Řízení kvality pitné vody od povodí k odběrateli), WHO, Geneva, 2005 (česky VAS, a.s., Brno, 2006).
6. Webové stránky projektu Waterrisk 2B06039, www.waterrisk.cz, 2008.