

Využití hydraulické analýzy a modelování kvality vody pro reakci na znečišťující událost

Vypracoval: Ondřej Vrba, student 4. roč. magisterského studia FAST VUT v Brně
ÚVHO FAST VUT v Brně, Žižkova 17, 602 00 Brno

Datum: 10/2006

Pracovní modul: PM3

Abstrakt: Článek se zabývá možnostmi reakce na kontaminující události vodovodních distribučních systémů a ukazuje možnosti šíření kontaminující látky v síti. Přijímá se zde princip, kde pouhá přítomnost kontaminující látky stačí k tomu, aby daná lokalita byla považována za zamořenou. Použití je omezeno na malé sítě z důvodu těžkopádného hledání jednotlivých režimů.

Abstract: The article deals with responding on contamination events. Authors present possibilities of pollution spreading within the water distribution system. One of the basic principles is that just a presence of contaminant in the network means that the area is considered as contaminated. Application of the presented methodology is suitable only for small networks.

HYDRAULIC AND WATER QUALITY MODELING FOR CONTAMINATION RESPONSE

Francois J.-C. Bouchart

James W. Davidson

(University of Calgary, Alberta)

Mays, Larry W.: Water Supply Systems Security, Arizona State University Tempe, Arizona, 2004, Mc Graw Hill publishing, ISBN 0-07-142531-4

Provozní potřeby pro možnost reakce na znečišťující události

Je požadováno minimalizovat nebezpečí znečištění vody včetně poruch v dodávkách vody. Když znečišťující látka vstoupí do distribučního systému, operační personál je seznámen s příslušnou reakcí, tedy s rozlohou zamoření, izoluje zamořené profily, následuje odstranění kontaminované látky z ovlivněných pásem, poté je systém opět schopen plné distribuce.

Tyto úkoly jsou obtížné hlavně kvůli:

- topologie distribučních sítí
- nízké „pozorovatelnosti“ distribučního systému

Vodovodní distribuční systémy (VDS) jsou navrhovány s vysokou spolehlivostí a zajišťují vysoké úrovně spolehlivosti služeb. Vícenásobná (paralelní) distribuční síť vytváří síť navzájem propojenou, dovolí distribuovat vodu, i když je část potrubí izolovaná. Údržba a vylepšení sítě může být provedeno s minimálním dopadem na spotřebitele. Jestliže jediný řad spojuje izolovanou část VDS se zbytkem VDS, pak je tento úsek zároveň jedinou cestou pro

kontaminující látku. Kontaminující látka nemůže opustit část VDS a ovlivnit další části sítě. Taktéž, může být snadno zachycena před vstupem do této části VDS.

Výhodou: operační jednoduchost, zavřením jednotlivých ventilů dojde k izolaci kontaminující látky.

V kruhové síti budou muset být sledovány všechny potenciální cesty do částí VDS, kvůli zabránění šíření znečištění. Vícenásobné spojovací úseky se pak stanou citlivé na znečištění kvůli velkému množství potenciálních cest do zóny a zvýší se pravděpodobnost, že vnikání kontaminace zůstane neodhalené. Při výskytu zamoření nastávají změny ve vodních strukturách spotřeby v částech VDS, mohlo by to způsobit proudové obrácení se zřetelem k tomuto potrubí. Proudové obrácení by buď pomáhalo pojmout znečišťující látku, nebo by dovolilo ji šířit dál.

VDS mají nízkou úroveň pozorovatelnosti kvůli nedostatečným SCADA datům.

Postup personálu při znečištění

- Operační personál musí být nejprve schopen zjistit přítomnost znečišťující látky, toto odhalení vyžaduje monitorovací síť.
- Dalším krokem je schopnost personálu izolovat postiženou oblast, tak aby škody byly minimální.
- V závěru, odčerpání znečištěné vody ze zasažené oblasti a znovuvvedení VDS do normální činnosti.

Funkční modely

Do popředí přichází nástroje poskytující odhad stavu systému. Operátoři pak mohou užívat informace, modifikovat operační nastavení nebo v případě výskytu kontaminace, formulovat odezvu.

Hydraulické síťové modely jsou formulované pro dané zatěžovací podmínky (potrubí – délka, DN, drsnost; hladiny ve vodojemech atd.), výpočetní zařízení vypočítá průtok v každém potrubí a tlak pro každý uzel. Toto řešení poskytne odhad stavu VDS, zvláště má význam během kontaminace, předloží nám informace o směru a rychlosti proudění, díky němuž je možno sledovat šíření látky. Použití pro vhodný způsob odezvových strategií. Před skutečnou kontaminací se vyzkouší hypotetické události. Vytvoří se alternativní odezvové akce. Tímto se zajistí nejlepší odezva při výskytu kontaminace ve VDS.

Nevýhodou: bez použití hydraulických modelů je možno se odchýlit příliš mnoho z limitních scénářů zahrnutých v pohotovostním odezvoovém plánovacím cvičení.

Alternativou k záchrannému odezvovému plánování je používat hydraulické modely v právě daný čas a nebo v čas velice blízký. Hydraulický model je udržován a aktualizován nepřetržitě. Při odhalení kontaminace, hydraulický model vygeneruje vhodnou odpověď pro danou událost. Toto zajistí, aby byly vyvinuty odpovědi pro incidenty, které nejsou obsaženy v krizovém plánu cvičení. Hlavní problém tohoto přístupu je závislost na datech v reálném čase. SCADA data jsou dostupná v omezených lokalitách distribučních sítí. Hydraulická síťová výpočetní

zařízení požadují data o spotřebě vody spíše, než data o tlacích a rychlostech v potrubí. Zprostředkující modely odhadnou odběry vody v jednotlivých lokalitách.

Celková rovnováha VDS: odběry uživatelů se rovnají vodě vstupující mínus nějaké zvýšené uskladnění v systému. Jakmile je tato informace k dispozici, odhad aktuálního stavu systému může být vypočten.

Druhá úroveň modelování zahrnuje rozhodnutí o kvalitě vody v celém VDS. Výpočet koncentrací složek ve vodě. Výsledkem jsou koncentrační odhady v každém uzlu a úseku sítě. Tyto koncentrační informace jsou pak využity pro zjištění částí, které se nachází nad kritickým prahem kontaminace, může zde docházet k nebezpečí na zdraví lidí nebo také v průmyslových odvětvích.

Konvenční modely

- definováno modelovými formulacemi, dostupností dat v čase, a ohraničeno časem k dispozici.
- první z těchto elementů, modelová formulace, je kritického významu od té doby, co definuje schopnosti vynášet z modelů vhodnou informaci a identifikuje data požadovaná pro řešení modelu.

Definice hydraulického síťového výpočetního zařízení

- Formuluje základní zákony fyziky, které definují proudění tlakové vody.
- První je zákon zachování hmotnosti (rovnice kontinuity), výsledkem je soustava rovnic.
- Druhý soubor rovnic: rovnice, které definují vzájemné vztahy mezi energetickými hladinami v uzlech z distribuční sítě.
- Ztráta energie jako proudění potrubím po délce, např. Hazen-Williams, rovnice definuje ztráty energie jako funkci proudění v potrubí.
- Řešení hydraulické síťové formulace se skládá z tlaku v každém uzlu a rychlosti proudění v potrubí, čerpadlech, a armaturách, které tvoří VDS.
- Potřeba znát spotřebu vody v uzlech. Tento požadavek se stává důležitým při práci v reálném čase. Specifický během kontaminace, kvůli nedostatku znalostí týkajících se aktuálního užívání vod v jednotlivých uzlech.
- Odhady těchto uzlových požadavků jsou nezbytné, jestliže hydraulické modely mají být použity v provozním nastavení.

Možnosti výpočtu v závislosti na průtoku a směru proudění

Hydraulický model se může podstatně odchylovat od aktuálního chování VDS kvůli nepřesnostem v požadovaných odhadech.

Jeden způsob redukcí složitosti analýzy je ignorovat velikost průtoku a soustředit se na směry proudění. Toto snížení modelu zamezí schopnost vypočítat koncentraci kontaminující

látky z doby proudění . Nicméně jestliže pouhá přítomnost kontaminace je dostačující, aby byla požadovaná lokalita považována za zamořenou, tak tento postup postačuje.

U tohoto principu nemají odchylky ve velikosti proudění dopad na kontaminaci, zatímco odchylky ve směru proudění mohou zvětšit rozsah kontaminace.

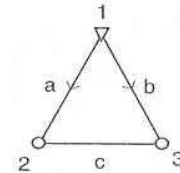
Princip nepoužívá odhadů, místo toho se spoléhá výhradně na dosažitelná SCADA data.

Definice

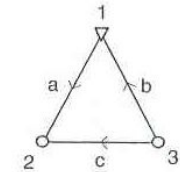
Technika pracuje se směry proudění a pracovními režimy. Pracovní režim je definovaný jako vzor v kterém jsou všem vedením přiřazeny směry proudění. V síti s „m“ úseky jsou 2m pracovní režimy.

Proveditelné režimy:

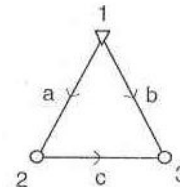
a) nereprezentuje pracovní režim, protože úsek „c“ nemá přiřazený směr proudění.



b) neproveditelný, protože proudy ve všech úsecích připojených k uzlu 3 jsou řízené pryč z tohoto uzlu.



c) reprezentuje vykonatelný režim; jeden jen ze dvou proveditelných pracovních režimů.



Souvislost matice

- Šíření kontaminace je funkcí proti proudu (po proudu) hierarchicky utvořeno mezi uzly.
- Vztahy mezi dvěma uzly dělíme do 3 kategorie:
 1. proti proudu
 2. po proudu
 3. žádný

Čtvrtý možný vztah se objeví tehdy, když je uzel proti proudu a po proudu dalšího uzlu. Žádný vztah nemůže být vyloučen na základě SCADA dat.

Jestli je uzel proti proudu zamořeného uzlu, uzel může být považován za potenciální zdroj kontaminace.

Jestli je uzel po proudu kontaminovaného uzlu, uzel se stane zamořeným, kvůli šíření kontaminující látky.

- Matice je čtvercová $n \times n$, kde n je počet uzlů v síti.
- Elementy matice se rovnají buď 0 nebo 1.
- Prvek C_{ij} se rovná 1, jestliže proudění existuje z uzlu „i“ k uzlu „j“ v aspoň jednom pracovním režimu, který je proveditelný a v souladu se SCADA daty. Potom uzel „i“ je potenciálně proti proudu uzlu „j“, C_{ij} se rovná 1.
- Uzel „i“ je potenciálně po proudu uzlu „j“, jestli ano C_{ji} se rovná 1.
- Jestli oba C_{ij} a C_{ji} se rovnají 1, existují proveditelné režimy v uzlu „i“ a „j“ jsou alternativně navzájem proti proudu a po proudu; nejhorší případ šíření kontaminace, budeme muset zvážit oba vztahy.

Výpočet pracovních režimů

Na rozdíl od pracovního režimu produkovaného hydraulickými výpočetními zařízeními, nejsou požadované předpoklady o požadavcích na uzly, aby našly plný soubor pracovních režimů pro souvislost matice.

Používáním malého souboru odvozovacích pravidel je možné rozlišovat režimy, které jsou proveditelné hydraulicky a v souladu s dosažitelnými SCADA daty od těch režimů, které nejsou proveditelné.

Výpočet plného souboru 2m pracovních režimů se stává neovladatelné pro střední a velké sítě.

Dva testy na proveditelnost každého pracovního režimu:

- (1) všechna spojení (uzly) musí být prozkoumány a určí se jestli aspoň jedno nahodilé spojení je směřované na uzel.
- (2) musí se zajistit, aby byly prozkoumány všechny okruhy, aby žádný okruh existujících spojení nebyl nasměřovaný ve směru hodinových ručiček nebo proti směru otáčení hodinových ručiček okolo okruhu, to by mělo za následek proudění, které cirkuluje dokola okruhu.
- Jestli pracovní režim projde oběma testy, pak je proveditelný.

To vede k pravidlům, která mohou být použita k odvození směru proudění, užívá v účinném sestavení souvislosti matice

- (1) jestliže se všechny incidenty spojí v křížícím uzlu jsou nasměřovány pryč z uzlu mimo jednoho úseku, pak tento úsek musí být nasměřován k zásobovacímu uzlu.
- (2) jestli všechno je zapojeno okruhově, jsou řízeny ve směru hodinových ručiček nebo proti směru hodinových ručiček okolo okruhu, mimo jednoho úseku, ten musí být řízen v opačném směru, vyhneme se cirkulaci.

-
- (3) pro spojení s neznámým směrem prouděním, testuje účinek proudu předpokládaného v jednom nebo druhém směru. Jen když jedno ze dvou nasměrování je proveditelné, předpokládá vtékání přípustným směrem.
 - Čtvrté pravidlo je komplikovanější střídání třetího pravidla, říká, že směr proudění je vykonatelný jen jestli zde existuje aspoň jeden proveditelný režim, který podporuje tento směr proudění.

Maximální potenciál šíření

Vyšetřování jednotlivých pracovních režimů je těžkopádné pro velké sítě. Souvislost matice se stává obtížná.

Výše popsaný postup je základem pro počítačový soubor programů, které realizují algoritmy, připojuje jim rozsáhlé schopnosti zobrazování šíření potenciálního znečištění, založené na souvislosti matice. Software tohoto typu může být snadno integrovaný do tradiční hydraulické analýzy, které vynášejí jednotlivé pracovní režim založené na nejlepším odhadu. To pak může být srovnáváno s nejhorsími případy založených na souvislosti matice. Tento přístup minimalizuje nebezpečí sdružené s přílišnou důvěrou v řízené scénáře.

Snaha se přiblížit hydraulickým modelování k modelům, kde koncentrace a doby cesty mohou být rychle vypočtené se schopností definovat potenciál šíření, který se plně shoduje s dosažitelnými real - time SCADA daty.

Toto poskytne mocný nástroj operačnímu personálu odpovědnému za vhodnou odpověď během znečišťující události.