

Rekonstrukce vodovodních řadů ve vztahu ke spolehlivosti vodovodní sítě

Ing. Jana Šenkapoulová
Vodárenská akciová společnost, a.s. Brno

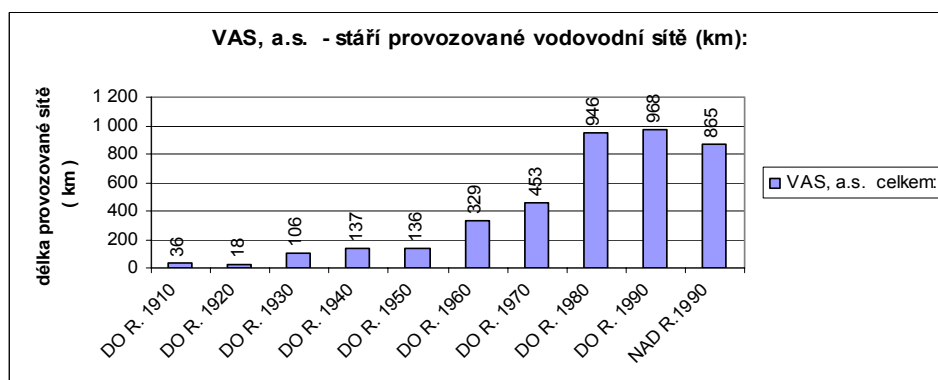
1. ÚVOD

V mnoha lokalitách České republiky je v současnosti aktuálním problémem zastaralá vodohospodářská infrastruktura, která je důsledkem pomalé dynamiky obnovy sítí v uplynulých desetiletích. Dožívající potrubí způsobuje nárůst počtu provozních defektů a negativně tím ovlivňuje efektivitu provozu sítí, přičemž citelněji se projevuje ekonomická ztráta při provozování vodovodních potrubí ve srovnání s potrubím kanalizačním. Poruchovost vodovodních sítí přináší provozovateli přímé ekonomické ztráty v důsledku úniků vody z potrubí, zatímco poruchovost kanalizačních sítí má větší negativní dopad na životní prostředí a znečišťuje podzemní vody.

2. DYNAMIKA OBNOVY VODOVODNÍCH SÍTÍ

V zemích Evropské unie je standardem pro odepsané vodovodní potrubí průměrná hranice stáří cca 50 let, nižší doporučená hranice se uvádí např. u nechráněného potrubí ocelového, zatímco např. teoretická životnost potrubí z tvárné litiny s vnější i vnitřní ochranou se předpokládá vyšší. Z tohoto předpokladu se odvíjí dynamika obnovy vodovodních sítí, která činí ve vyspělých státech 1,5 – 2 % ročně, tj. ročně se obnoví v závislosti na materiálové skladbě provozovaného potrubí asi 1,5 až 2 % z celkové délky provozovaného potrubí. V naší republice je dynamika obnovy sítí podstatně nižší s ohledem na omezené finanční prostředky vlastníků infrastruktury.

Pro názornost: ve VODÁRENSKÉ AKCIOVÉ SPOLEČNOSTI, a.s. (dále VAS, a.s.) je dynamika obnovy vodovodních sítí v uplynulých letech na úrovni cca 0,3 % ročně. S ohledem na stáří provozovaného potrubí není tato hodnota optimální.



Jak je patrné z grafického přehledu, pochází nejstarší dosud provozované vodovodní potrubí z období před rokem 1910, z hlediska podílového zastoupení se jedná o necelé 1 % z celkové délky vodovodní sítě provozované VAS, a.s., ale ve stáří nad 50 let je provozováno již téměř 11 % z celkové délky potrubí a ani v dalším výhledu není situace z hlediska stáří potrubí příznivá. Je nesporné, že dynamika obnovy by se měla zvýšit. Ze strany vlastníků však nelze očekávat okamžitý příliv investičních prostředků do rekonstrukcí vodovodních sítí. Je proto zapotřebí zefektivnit přístup k plánování rekonstrukcí a návrh je nutno provádět nejen s ohledem na stáří potrubí, ale i s přihlédnutím k ostatním vlivům, které spolupůsobí v procesu distribuce vody. Cílem musí být zajištění co nejvyšší spolehlivosti sítě.

3. SPOLEHLIVOST VODOVODNÍ SÍTĚ

Spolehlivost sítě je definována jako pravděpodobnost, že síť bude fungovat během návrhového období v souladu s kritérii zadanými projektem. Spolehlivost sítě může být docílena provozními zásahy (ta bývají účinná zejména u nových staveb) nebo optimálním způsobem rekonstrukce. Ideálně by spolehlivost měla dosahovat 100 %, ovšem v praxi je to vždy méně. Před volbou opatření směřujícího ke zlepšení spolehlivosti sítě je nutné provést optimální rozbor nákladů a přínosů (tzv. cost-benefit analysis).

Spolehlivost celého systému zásobování vodou je schopnost plnit zadanou funkci a je závislá na spolehlivosti jeho jednotlivých prvků. Spolehlivost R_i i-tého prvku systému S závisí na množině činitelů Ω_i , tedy

$$R_i = f(\Omega_i)$$

Množinu činitelů Ω_i můžeme rozdělit do několika podmnožin (jedná se zejména o činitele projektové, technologické, realizační, provozní,...). Činitele mívají náhodné chování.

Prvkem systému S rozumíme v převážné většině vodovodní úsek nebo výpočtový uzel sítě. Vlastnosti prvku jsou charakterizovány parametry danými (např. topologie sítě, průměry potrubí, drsnost a délka potrubí, odběry vody v uzlech,...) a parametry odvozenými (tj. stanovenými matematickými prostředky z parametrů daných – např. ztrátové výšky, rychlosti proudění, rozdělení průtoků v systému).

Spolehlivost vodovodní sítě lze posuzovat z různých aspektů. Pro provozovatele je důležité, že vhodně provedenou rekonstrukcí řadů dojde ke snížení poruchovosti (zajímají ho ekonomické přínosy projevující se snížením četnosti náhradního zásobení, snížením nákladů na opravy defektního potrubí, na údržbu potrubí při odstraňování starých sedimentů apod.). Z pohledu konečného spotřebitele však nejsou ekonomické přínosy tak viditelné, zajímavější je pro uživatele např. zvýšení komfortu dodávky vody, zejména zajištění kontinuální dodávky a v některých lokalitách také zlepšení tlakových poměrů v síti. Z hlediska provozovatele i spotřebitele by vždy mělo dojít po realizaci rekonstrukce řadů ke zvýšení spolehlivosti systému.

Při stanovení **dílčích spolehlivostí prvků sítě a celkové spolehlivosti systému** se nejčastěji vychází z požadavků spotřebitele na dodržení normou předepsaného tlaku vody v jednotlivých úsecích sítě. Spolehlivost i-tého spotřebitelského uzlu je potom charakterizována jako pravděpodobnost, že tlak P_i v uzlu je vyšší nebo roven deterministicky dané hodnotě tlaku, tj. předepsanému tlaku P_i^* v tomtéž uzlu. V čase, kdy je tlak

$$P_i^* \leq P_i(t) \quad \text{označme} \quad P_i = \min_{t \in T} P_i(t)$$

Za předpokladu, že tato pravděpodobnost je sledována v libovolném okamžiku, lze ji interpretovat jako součinitel pohotovosti K_{pi} (stručně pohotovost). Tlak P_i^* je deterministická zadaná veličina, tlak P_i je náhodná veličina. Pohotovost K_{pi} i-tého uzlu je potom určena vztahem

$$K_{pi} = \int_{P_i^*}^{P_{i \max}} f(P_i) dP_i$$

Při stochastickém modelování znamená

$P_{i \max}$ - odhad max.hodnoty tlaku P_i získaný z výběrového souboru $\{P_i\}$ vypočítaných tlaků,

$P_{i \min}$ - odhad minimální hodnoty tlaku P_i

$f(P_i)$ - hustota pravděpodobnosti tlaku P_i .

Pro **stanovení dílčích spolehlivostí** prvků sítě se využívá matematických hydraulických modelů. Simuluje se chování sítě při vyřazení jednotlivého prvku z provozu (tj. úseku s předpokládanou poruchou), v tomto případě pak přebírají funkci vyřazeného prvku ostatní okolní prvky a důsledkem je změna tlakových a průtokových poměrů v síti. Počet posuzovaných stavů odpovídá počtu úseků sítě. Pro každý takto definovaný stav (vyřazený úsek) se provede hydraulická analýza, stanoví se tlakové poměry v jednotlivých uzlech a specifikuje se počet uzlů, u kterých došlo v důsledku vyřazení úseků k nesplnění kritéria předepsaného tlaku P^* .

Komplikovanější je **stanovení celkové spolehlivosti sítě**. Spolehlivost sítě sestávající z daného počtu úseků nebo uzlů nelze chápat jako součin spolehlivostí jednotlivých prvků systému, tak jak je tomu ve většině jiných technických disciplín, protože každý prvek má v systému jinou významovou váhu λ_i . Stanovení významové váhy prvku v systému lze provádět z různých hledisek, např. u úseků můžeme přiřazovat významovou váhu λ_i podle délky úseku apod.

Obecně platí, že stanovíme-li v každém j -tém posuzovaném pseudonáhodném diskrétním stavu systému spolehlivost všech jeho prvků, odvodíme z m prvků sítě n prvků nespolehlivých. Je-li posuzovaným prvkem úsek, pak celková spolehlivost sítě pro j -tý stav vychází ze vztahu

$$R_j = \frac{\sum_{i=1}^m u_i - \sum_{i=1}^n u_i}{\sum_{i=1}^m u_i} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n u_i}{\sum_{i=1}^m u_i} = 1 - \delta_j$$

kde $\sum_{i=1}^m u_i$ - součet významově ohodnocených všech úseků sítě

$\sum_{i=1}^n u_i$ - součet významově ohodnocených nespolehlivých úseků sítě

δ_j - intenzita nespolehlivosti sítě

Pozn.: - obdobně lze tento vztah aplikovat i na jiné posuzované prvky systému, např. uzly.

V praxi se ale často využívá pro ověření výhodnosti rekonstrukce vodovodní sítě **zjednodušené stanovení celkové spolehlivosti sítě**, při kterém se celková spolehlivost sítě R_H vyčísluje jako poměr uzlů s dosaženým předepsaným tlakem P^* (resp. s dosaženou předepsanou tlakovou výškou H) k celkovému počtu uzlů v síti

$$R_H = \frac{n}{m} \quad n = m - X_H$$

kde n - počet uzlů s předepsaným tlakem

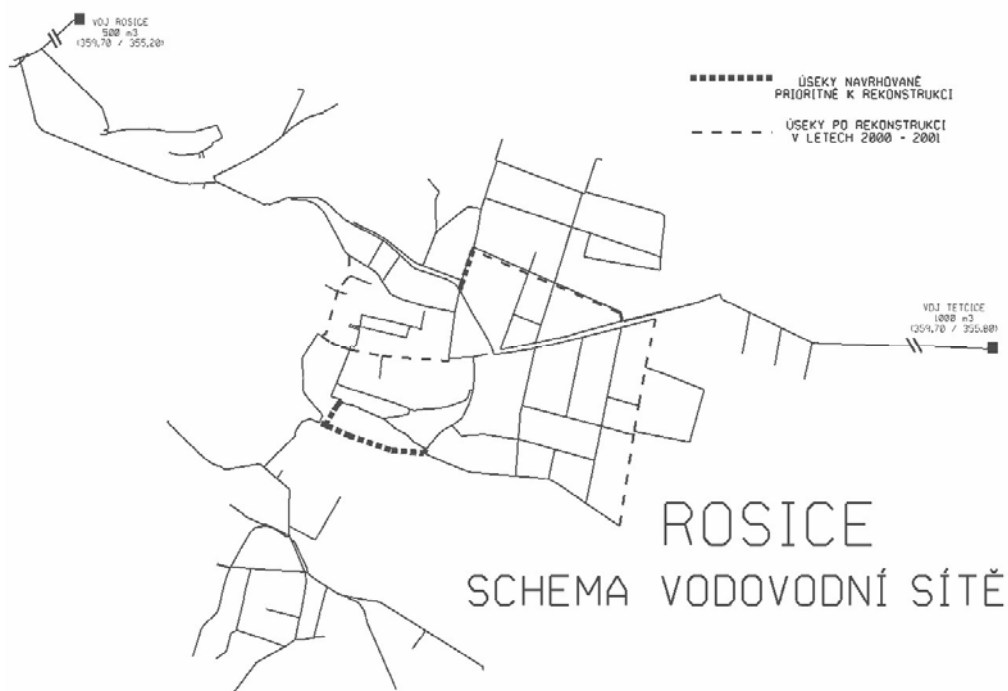
m - celkový počet uzlů v síti bez napájecích uzlů

X_H - počet uzlů s nevyhovujícím tlakem (pod hranicí posuzované tlakové výšky H)

4. SPOLEHLIVOST SÍTĚ PO REKONSTRUKCI ŘADŮ V ROSICÍCH

Výše uvedené teoretické poznatky byly aplikovány při výpočtu spolehlivosti vodovodní sítě v Rosicích (okres Brno-venkov), kde VAS,a.s. zásobuje vodou cca 5 300 obyvatel. Stávající síť v centru města je převážně z hlediska stáří nevyhovující a musí být postupně rekonstruována. První část rekonstrukce se uskutečnila v letech 2000 až 2001, pro druhou etapu byly multikriteriální metodou doporučeny k rekonstrukci další

nevyhovující úseky. Přehled o rozsahu rekonstrukcí poskytuje následující topologické schéma sítě:



Celková spolehlivost vodovodní sítě Rosice pro předepsané tlakové výšky H:

$R_H = n / m$ = celková spolehlivost

$n = m - X_H$ = počet uzlů s dosaž.požadov.tlakem, m = počet všech uzlů, X_H = počet nevyhov.uzlů

posuzovány jsou tlakové výšky 25, 15, 10 a 0 m vodního sloupce

posuzovaná varianta:	m	X ₂₅	X ₁₅	X ₁₀	X ₀	R ₂₅	R ₁₅	R ₁₀	R ₀
var.1-před rekonstrukcí	120	24	5	0	0	0,80	0,96	1,00	1,00
var.2-po rekon. - k r.2001	120	22	5	0	0	0,82	0,96	1,00	1,00
var.3-jen z vdj Tetčice	120	43	11	8	1	0,64	0,91	0,93	0,99
var.4-jen z vdj.Rosice	120	79	44	21	3	0,34	0,63	0,83	0,98
var.5-noční Q.oba vdj.	120	11	1	0	0	0,91	0,99	1,00	1,00
var.6-požár v uzlu 119	120	20	5	1	0	0,83	0,96	0,99	1,00
var.8-po rekon. - k r.2005	120	19	4	0	0	0,84	0,97	1,00	1,00

Lze konstatovat, že rekonstrukcí několika uličních vodovodních řadů provedenou v letech 2000-2001 se zvýšila spolehlivost sítě o 2 %. Po realizaci další etapy doporučených rekonstrukcí řadů (zatím předpoklad do r.2005) dojde ke zvýšení spolehlivosti o další 2 %.

Pro přehlednost je dokladována v následující tabulce také část výsledků výpočtů posouzení spolehlivosti stávající vodovodní sítě v Rosicích po vyřazení některých úseků:

Spolehlivost vodovodní sítě Rosice po vyřazení jednotlivých úseků (výběr):

vyřaz.úsek	poč.uzel	kon.uzel	m	X_{25}	X_{15}	X_{10}	X_0	R25	R15	R10	R0
7	6	9	120	79	43	20	2	0,34	0,64	0,83	0,98
8	9	8	120	22	5	0	0	0,82	0,96	1,00	1,00
9	8	20	120	22	5	0	0	0,82	0,96	1,00	1,00
10	9	10	120	47	31	26	25	0,61	0,74	0,78	0,79
11	36	9	120	22	5	0	0	0,82	0,96	1,00	1,00
12	9	48	120	22	5	0	0	0,82	0,96	1,00	1,00
13	9	61	120	45	18	4	0	0,63	0,85	0,97	1,00
14	10	11	120	25	5	0	0	0,79	0,96	1,00	1,00
15	10	23	120	23	5	0	0	0,81	0,96	1,00	1,00
16	11	12	120	23	6	1	1	0,81	0,95	0,99	0,99
17	11	13	120	23	5	0	0	0,81	0,96	1,00	1,00

Při tomto posouzení sítě je pro provozovatele důležité zjištění, že v systému se nacházejí prvky, jejichž náhlé vyřazení z provozu způsobí závažné poruchy v dodávce vody, dokonce hrozí vznik podtlaku v rozvodné síti.

5. ZÁVĚR

Problematicke efektivnosti rekonstrukcí vodovodních sítí by měla být z důvodu ekonomických dopadů věnována větší pozornost. Pomocí moderních výpočtových prostředků je možno již ve stadiu přípravy účelně rozhodovat o možnostech rekonstrukcí stávajících vodovodních systémů. Jedním z kritérií odůvodňujících plánovanou rekonstrukci je budoucí zvýšení spolehlivosti systému. Je praxí ověřené, že o nutnosti rekonstrukcí rozhoduje mnoho faktorů, např. poruchovost, stáří potrubí, podmínky uložení potrubí, zatížení potrubí zeminou i dopravou, vliv tlaku vody v potrubí apod. Výhledově by bylo vhodné využívat v procesu plánování rekonstrukcí také ještě některých přesnějších regresních metod výpočtů a např. pomocí faktorové analýzy se snažit o co nejpodrobnější kvantifikaci podílu vlivů působících negativně na kontinuitu dodávky vody ve vodovodních systémech.

Literatura:

- Votruba, Heřman: Spolehlivost vodohospodářských děl, Česká matice technická, Praha 1993
- VUT FAST Brno: Vývoj metod modelování a řízení vodohospodářských a dopravních systémů – výsledky výzkumu v r.2000, sborník přednášek – 12/2000
- ACE, VUT FAST Brno: Optimalizace inženýrských úloh ve stokování, sborník přednášek z mezinárodního workshopu – 04/2000
- IWA, VUT FAST: System Approach to Leakage Control and Water Distribution Systems Management, sborník přednášek z mezinárodní konference- 05/2001
- Aquanet, SOVAK: Distribuce pitné vody – texty přednášek vzdělávacích kurzů pro lektory, Praha – 01/2002

Kontakt na autora příspěvku:

Telefon: 05/ 45 532 365 Fax: 05/ 48 52 87 38

E-mail: senkapoulova@vasgr.cz

Adresa: Soběšická 156, 638 01 Brno