

Optimalizační přístup při plánování rekonstrukcí vodovodních řadů

Ladislav Tuhovčák, Pavel Dvořák**, Jaroslav Raclavský*,
Pavel Viščor*, Pavel Valkovič**

* Ústav vodního hospodářství obcí, Fakulta stavební VUT v Brně

** Brněnské vodárny a kanalizace a.s.

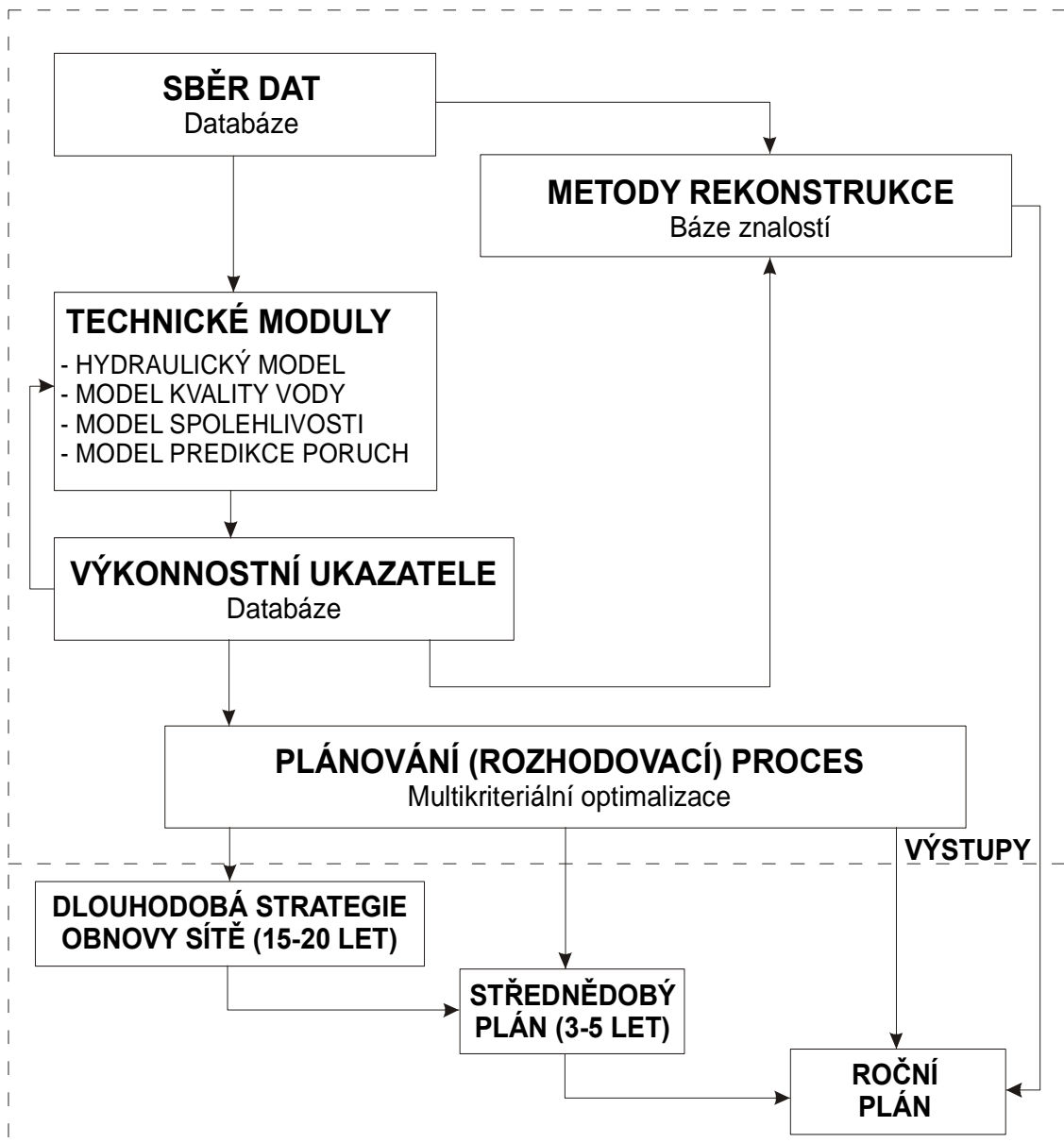
1. Úvod

Dle údajů SOVAK [1] činila celková délka vodovodní řadů veřejných vodovodů v roce 1999 v ČR 50 889 km. Značná část těchto vodovodních sítí, zejména v historických centrech větších měst se v současné době blíží ke konci své životnosti. Dokazují to i údaje o ztrátách vody, které činily v průměru za ČR v tomtéž roce cca 25,9 % vody vyrobené k realizaci. Toto číslo výrazně převyšuje hodnoty udávané ve většině zemí Evropské unie. Řada vlastníků i provozovatelů trubních sítí si zejména v poslední době nechala vypracovat studie o optimální rychlosti obnovy těchto sítí. Z těchto studií vyplývá, že v průměru by se ročně mělo obnovit nebo opravit cca 1,5 až 2 % celkové délky vodovodní sítě. Pro veřejnou vodovodní síť v ČR to představuje zhruba 750 km/rok. Prakticky všechny větší města v ČR musí společně s provozovatelem těchto systémů hledat odpovědi na otázky, které části sítí je nutno rekonstruovat, kdy, proč, jak a samozřejmě za kolik. Plán rekonstrukcí by měl být přitom zpracován tak, aby optimalizoval jednak dopad do ceny vodného a zároveň zajistil funkčnost vodárenských systémů.

2. Expertní systém SUPSYS jako podpůrný prostředek rozhodování

Jako podpůrný prostředek pro plánování a pro kvalifikovaná rozhodnutí, které řady vodovodní sítě rekonstruovat, sanovat nebo úplně vyměnit, v jakém čase, za jakých podmínek, jakými metodami atd., je na Ústavu vodního hospodářství obcí v rámci řešení výzkumného záměru MŠMT [2] vyvíjen expertní systém označený akronymem **SUPSYS**. Expertní systém je řešen formou relativně samostatného modulu, který může být využíván uživatelem samostatně nebo může být začleněn do integrovaného informačního systému provozovatele vodovodních sítí. Základní struktura vyvíjeného expertního systému s vazbami mezi jednotlivými moduly je znázorněna na Obr. 1. Expertní systém bude tvořen následujícími relativně samostatnými moduly

- Databází nezbytných dat o posuzovaném vodovodním distribučním systému
- Bází znalostí o dostupných a použitelných technologiích pro opravy a rekonstrukce trubních řadů
- Analytickými technickými moduly
- Databází výkonnostních ukazatelů, která bude obsahovat výsledky analytických modulů
- Rozhodovacími algoritmy s multikriteriálním hodnocením
- Výstupními moduly - dlouhodobá strategie obnovy sítě, střednědobý plán a roční plán



Obr. 1 Základní struktura expertního systému SUPSYS

3. Databáze vstupních údajů - sběr dat

Prvním relativně samostatným modulem systému je databáze základních údajů o každém vodovodním řadu v posuzovaném systému zásobování vodou. Je zpracován návrh struktury základní věty této databáze, která specifikuje vyžadované údaje ke každému úseku sítě. Členění posuzovaného systému na jednotlivé úseky vychází z topologie sítě pro hydraulický model se zohledněním rozmístění uzávěrů, které umožňují provozní odstavení hodnoceného úseku. To znamená, že každý úsek je definován dvojicí uzlů. V současné době je správa databáze vyvíjena v prostředí MS Access, výhledově plánujeme přejít na databázi ORACLE. Databáze by měla být propojena s GIS a dalšími moduly informačního systému provozovatele sítě, aby ji bylo možno průběžně doplňovat a aktualizovat. Databáze musí poskytnout všechny potřebné údaje pro analytické modely, pro které bude zdrojem vstupních dat.

4. Metody rekonstrukce - Báze znalostí

Jde o relativně zcela samostatný modul v rámci **SUPSYS**, který má poskytnout uživateli všechny známé a dostupné informace o metodách výstavby, rekonstrukcí a sanací vodovodních řadů, zejména bezvýkopových technologiích. Využití modulu v rámci **SUPSYS** se předpokládá při sestavování ročních plánů rekonstrukcí a obnovy sítě. V uplynulém roce byla zpracována základní analýza struktury modulu, která zahrnuje

- základní pojmy a terminologii používanou v rámci ISTT
- platnou legislativu a související normy, odkazy na dostupnou literaturu
- informace o používaných trubních materiálech
- základní přehled využívaných bezvýkopových technologií rozdělených na
 - opravy lokální
 - opravy celkové
 - opravy šachet a objektů
 - výstavba nového potrubí ve stávající trase
 - výstavba potrubí v nové trase
- přehled společností v ČR s uvedením technologií, které v současné době v této oblasti nabízejí

V rámci známých a dosud používaných technologií je zpracováván přehled jednotlivých metod včetně jejich hodnocení z hlediska vhodnosti, dostupnosti a finanční náročnosti. Podrobněji je současný stav tohoto modulu popsán v [3].

5. Analytické modely

Tyto modely slouží k dalšímu technickému posouzení jednotlivých úseků vodovodní sítě a získání dalších výkonnostních ukazatelů potřebných pro plánování rekonstrukcí a obnovy sítě. Ty jsou ukládány do databáze výkonnostních ukazatelů. V současné době jsou jako součást **SUPSYS** navrhovány 4 následující modely

- hydraulický model sítě
- model kvality vody
- model spolehlivosti sítě
- model predikce vývoje poruch

Hydraulický model sítě

Jde o základní analytický modul, který využívají i zbývající 3 modely. V současné době je dostupná celá řada programů, která poměrně na vysokém stupni uživatelského komfortu řeší problematiku simulace hydraulických poměrů ve vodovodních sítích. V ČR je dnes zřejmě nejrozšířenější program ODULA, který je využíván i v rámci **SUPSYS**. Pro každé tlakové pásmo se předpokládá zpracování časových snímků pro pracovní den a den pracovního klidu pro stávající a výhledové potřeby vody. Výsledkem analýzy jsou pak minimální a maximální provozní tlaky a hodnoty průtoků v jednotlivých úsecích sítě. Hydraulický model rovněž umožňuje simulace hydraulických poměrů v síti při vyřazení konkrétního úseku nebo části sítě. Před používáním modelu je nutná jeho kalibrace přímým měřením na síti.

Model kvality vody

Jde o analytický modul, který poskytuje informace o vývoji kvality vody při její distribuci v posuzovaném systému. K základním výstupům tohoto modulu patří doba zdržení vody (doba dotoku z napájecího uzlu k jednotlivým odběratelům) a vybrané ukazatele kvality vody. S ohledem na možnosti řešitelského pracoviště a možnosti kalibrace modelu přímým měřením na síti byl zatím vybrán ke sledování pouze jediný

parametr kvality vody, a to obsah zbytkového chlóru. V rámci **SUPSYS** se plánuje testování modelu kvality vody s využitím programu ODULA. V uplynulém roce byl realizován nákup měřicího zařízení ní pro měření zbytkového chlóru přímo na síti. Výsledkem modelu by mělo být stanovení doby zdržení vody v síti a především ohodnocení vlivu jednotlivých úseků na vývoj kvality vody.

Model spolehlivosti sítě

Spolehlivost vodovodní sítě je možné posuzovat podle dvou základních kritérií. Prvním z nich je zabezpečení požadovaného množství vody, tedy přístup kvantitativní. Druhým je zabezpečení dodávky vody v požadované kvalitě, tj. přístup kvalitativní. Spolehlivost celého systému zásobování vodu je závislá na spolehlivosti jeho jednotlivých prvků. Spolehlivost každého prvku je funkcí celé řady faktorů, které mají často charakter náhodných veličin.

V rámci vývoje **SUPSYS** se zabýváme problémem stanovení kvantitativní spolehlivosti a to jak pro jednotlivé prvky sítě (uzly) tak i pro celou vodovodní síť. Podrobněji je zvolený přístup ke stanovení spolehlivosti vodovodní sítě popsán v [4],[5]. Pro účely multikriteriálního hodnocení je v současné době posuzován vliv jednotlivých úseků sítě na celkovou spolehlivost sítě.

Model predikce poruch

Vývoj tohoto modulu je teprve na začátku. Na základě statistického vyhodnocení počtu poruch v jednotlivých částech sítě, jejich příčin a dynamiky vývoje by měl být modelem predikován předpokládaný vývoj poruch v rámci posuzované sítě v daných časových horizontech a zároveň stanoveny tzv. pohotovosti jednotlivých úseků K_p , které budou sloužit jako vstupní údaje pro model spolehlivosti.

6. Databáze výkonnostních ukazatelů

V současné době probíhá vývoj návrhu struktury databáze výkonnostních ukazatelů získaných z analytických modulů. Ukazatele budou vztaženy opět k jednotlivým úsekům topologického schématu hydraulického modelu a pro každý úsek budou zahrnovat především

- minimální a maximální hydrostatické tlaky
- minimální a maximální průtoky a rychlosti průtoků
- hodnocení úseku z hlediska dopadu jeho vyřazení na hydraulické poměry v síti
- minimální a maximální dobu dotoku vody do uzlů úseku z jednotlivých napájecích uzlů
- hodnocení vlivu úseku na kvalitu vody v síti
- hodnocení úseku z hlediska staří trubního materiálu
- hodnocení úseku z hlediska vývoje počtu poruch
- hodnocení úseku z hlediska predikovaného počtu poruch
- hodnocení úseku z hlediska jeho vlivu na celkovou spolehlivost posuzované sítě

Databáze bude společně s databází vstupních dat základním zdrojem údajů pro multikriteriální hodnocení významu každého úseku a pro tvorbu jednotlivých výstupních modulů **SUPSYS**.

7. Multikriteriální hodnocení – optimalizační přístup k plánování rekonstrukcí

V rámci řešení *SUPSYS* byla navržena první varianta multikriteriálního hodnocení jednotlivých úseků posuzované sítě. Je navrženo hodnocení každého úseku pomocí 4 dílčích kritérií. Každé dílčí j-té hodnotící kritérium je vyjádřeno jako bezrozměrné hodnocení každého i-tého úseku a platí pro něj

$$h_j^i \in \langle 0,1 \rangle \quad (1)$$

Pro výslednou multikriteriální funkci j-tého úseku posuzované sítě pak platí

$$H^i = \sum_{j=1}^4 h_j^i = \max \quad (2)$$

Zvolený přístup byl testován v rámci [6] na vybraném tlakovém pásmu vodovodní sítě města Brna. Posuzovaná vodovodní síť má jeden vodojem, 127 uzlů a 167 úseků. Byl zpracován hydraulický model pomocí software ODULA, z databáze poruch BVK za roky 1991 až 1996 byla provedena analýza poruch, tlakových poměrů v síti, analýza stáří trubního materiálu a vliv vyřazení každého úseku na celkovou spolehlivost sítě. Byla sestavena multikriteriální funkce, kde jednotlivé dílčí členy funkce jsou

- h_1^i - poruchovost úseku (průměrná poruchovost přepočítaná na jednotku délky sítě)
- h_2^i - vliv hydrodynamický tlaku
- h_3^i - vliv stáří trubního materiálu
- h_4^i - vliv úseku na celkovou spolehlivost vodovodní sítě

Pro každý úsek posuzované vodovodní sítě byla z uvedených dílčích kritérií stanovena hodnota výsledné multikriteriální funkce podle rovnice (2). V Tab.1 je prezentováno prvních deset úseků s největší dosaženou hodnotou H^i . Úseky, které jsou v tabulce zvýrazněné šedou barvou byly v průběhu let 1997 a 1998 skutečně rekonstruovány.

Tab. 1 Úseky s maximální hodnotou výsledné multikriteriální funkce H^i

Číslo úseku	Počáteční uzel	Koncový uzel	h_1^i	h_2^i	h_3^i	h_4^i	H^i
59	46	125	0,58	1,00	0,74	0,00	2,31
132	94	96	1,00	0,35	0,54	0,00	1,89
67	51	126	0,28	0,56	1,00	0,00	1,85
56	44	45	0,00	0,87	0,72	0,00	1,59
147	102	106	0,39	0,54	0,62	0,00	1,55
166	113	120	0,44	0,48	0,59	0,00	1,52
61	48	46	0,00	0,75	0,74	0,00	1,49
28	23	25	0,15	0,74	0,55	0,01	1,45
63	50	49	0,10	0,61	0,74	0,00	1,44
62	49	48	0,00	0,68	0,74	0,00	1,41

8. Výstupy

Tři úrovně výstupů jsou plánovány při využívání podpůrného prostředku **SUPSYS**. Předpokládá se, že tento expertní systém bude využíván při plánování **dlouhodobé strategie obnovy sítě** (15-20 let). Tento výstup bude zpracováván pro celý posuzovaný systém zásobování vodou a měl by obsahovat pouze základní doporučení jako celkové roční procento obnovy sítě k danému časovému horizontu ve variantách, orientační finanční náročnost jednotlivých variant, hodnocení dopadů těchto variant do ceny vody a zajištění funkčnosti posuzovaného systému atd. Dalším výstupem bude zpracování **střednědobého plánu** obnovy sítě, který bude již zpracováván samostatně pro jednotlivá tlaková pásma posuzovaného systému. Bude obsahovat časový harmonogram obnovy a rekonstrukce jednotlivých částí resp. úseků tlakového pásma s uvedením celkových délek jednotlivých trubních řadů podle profilů a trubního materiálu s uvedením základního doporučeného způsobu rekonstrukce - zda v otevřené rýze nebo s využitím bezvýkopových technologií, vyplývající finanční náklady v jednotlivých letech atd. Tento plán by měl zároveň navazovat resp. být koordinován se správci ostatních sítí, plánovaným opravami komunikací a plánovanou výstavbou v dotčeném zájmovém území. Posledním možným výstupem bude **roční plán oprav**, sanací a rekonstrukcí vodovodních řadů s detailním časovým harmonogramem a rozsahem rekonstrukcí jednotlivých úseků, doporučenou metodou jejich rekonstrukce, dopady na provoz sítě včetně případného omezení dodávky vody a zajištění způsobu náhradního zásobování vodou, dopady na dopravní omezení, dopady na správce ostatních sítí, zábory pozemků, finanční náklady na jednotlivé úseky atd.

9. Závěr

Předložená metodika vícekriteriálního hodnocení úseků vodovodní sítě pro potřeby plánování jejich rekonstrukcí je první variantou navrženou a testovanou v rámci řešení příslušné části výzkumného záměru. Záměrem řešitelského kolektivu je rozšířit dílčí kritéria o další faktory, např. vliv úseku na kvalitu vody v síti nebo tzv. korekční faktor, který by se snažil postihnout ostatní vlivy (rekonstrukce vozovek, jiných sítí atd.). Zároveň budou pokračovat práce na vývoji jednotlivých modulů **SUPSYS**.

10. Literatura

- [1] Ministerstvo zemědělství ČR: *Vodovody a kanalizace ČR*, Agrospoj, Praha 2000
- [2] Tuhovčák, L.: *Vývoj metod modelování a řízení vodohospodářských a dopravních systémů*, Výzkumný záměr CEZ J22/98 261100006 - část Vodárenské systémy -průběžná zpráva o řešení za rok 1999, VUT Brno, Brno 1999
- [3] Raclavský, J., Tuhovčák, L., Valkovič, P.: *Báze znalostí o rekonstrukcích vodovodních řadů*, seminář Vývoj metod modelování a řízení vodohospodářských a dopravních systémů FAST VUT, Brno 2000
- [4] Višcor, P., Tuhovčák, L.: *Spolehlivost vodovodních sítí*. Sborník II. mezinárodní konference VODA Zlín 98, Zlín, 24.-26. March 1998, str. 97-102
- [5] Višcor, P.: *Management of Water Distribution Systems and Leakage Control*, Proceedings of the 13th European Junior Scientist Workshop on Service-Life Management of Water Mains and Sewers, Technische Universität Dresden, Dresden SRN, 1999, str. 87
- [6] Dvořák, P.: *Vliv poruch rozváděcích řadů na spolehlivost vodovodních sítí*, disertační práce, Fakulta stavební VUT v Brně, Brno, 2000