

Integrace simulačních modelů a GIS v programu pro plánování obnovy vodovodních a kanalizačních sítí

Zdeněk Sviták¹, Tomáš Metelka²

¹DHI a.s., Na Vrších 5,
PSČ 100 00, Praha 10, Česká Republika
z.svitak@dhi.cz

²DHI a.s., Na Vrších 5,
PSČ 100 00, Praha 10, Česká Republika
t.metelka@dhi.cz

Abstrakt.

S postupem stále vyšší úrovně naplněnosti dat GIS napříč různými obory se stává stále více aktuální snaha o maximální využití těchto dat pro různorodé účely. Přitom takovéto aplikace jdou často za rámec pouhé prezentace shromážděných dat, ale směřují do mnohem hlubších analýz, přičemž jsou kombinována data i z jiných informačních systémů a případně výsledky různých simulací.

Obor vodního hospodářství využívá technologie GIS již řadu let pro zefektivnění práce na úrovni sběru prostorových informací, zpracování, analýzy a agregace informací až po prezentaci a publikaci informací pro veřejnost. V poslední době je přitom jasně patrný trend v postupné vzájemné integraci GIS technologie s dalšími technologickými prostředky vodního hospodářství, jimiž jsou deterministické simulační modely popisující chování vodního média a jím transportovaných látek v přirozeném prostředí vodních toků a nádrží jakož i v prostředí vodovodních a kanalizačních sítí. Smyslem této integrace je sdružení jednotlivých funkcionalit obou technologií, a tudíž i zvýšení komfortu a flexibility práce s informací. Spolu s tím je kladen důraz na otevřenost datových rozhraní, flexibilní konfiguraci a intuitivní pracovní prostředí těchto nových technologických systémů.

Simulační prostředky poskytují celou řadu výsledků, které mají zásadní dopad na vnímání funkce, technického stavu a investičních priorit ve vodovodních a kanalizačních sítích. Tyto výsledky spolu s analýzou technického stavu sítí plynoucí z rozboru dat GIS a dalších informačních zdrojů by měly sloužit pro optimalizaci plánování obnovy vodovodních a kanalizačních sítí.

Pro všechny vlastníky vodovodů nebo kanalizací pro veřejnou potřebu je legislativně zakotvena jejich povinnost zpracovat Plán financování obnovy vodovodů nebo kanalizací nejpozději do 31.12.2008. Vzhledem k tomu, jaké je stáří kanalizačních a vodovodních sítí v převážné většině našich měst a obcí, lze předpokládat, že finance vkládané do obnovy sítí budou muset představovat značný podíl investic vkládaných do systému zásobování vodou a odkanalizování a že vlastníci spolu s provozovateli budou muset věnovat značnou pozornost optimalizaci takto vynakládaných prostředků. Tato optimalizace spočívá jednak v tom, aby investice byly zaměřeny na ty části systému, které jsou z hlediska technického stavu opravdu kritické, jednak v optimální kombinaci řešení špatného technického stavu a koncepčních úloh, především zajištění dostatečné kapacity sítí.

Ve skupině DHI Water & Environment byl vyvinut program pro optimalizaci plánů obnovy vodovodních a kanalizačních sítí integrovaný jako modul nad simulačním modelem MIKE URBAN. Tento prostředek využívá celou řadu datových vstupů jak z GIS a simulací, tak z dalších datových zdrojů. Proces plánování obnovy vychází z multikriteriální analýzy, která je aplikována na následující období např. 30 let. Jako výsledek je pak vidět jasný dopad zvolené strategie obnovy sítě a to jak z hlediska priority výměny jednotlivých řadů a investiční náročnosti, ale i postupné změny provozních ukazatelů jako je poruchovost řadů, úniky vody včetně souvisejících provozních nákladů. Porovnání výsledků různých scénářů umožňuje výběr optimální varianty reflektující jak technické potřeby, tak finanční možnosti.

Klíčová slova: GIS, obnova sítí, modely sítí

Abstract.

Integration of simulation models and GIS with software package for reconstruction planning of water supply and sewer networks

GIS data gradually becomes complete in many business practices, experts pay more attention to its maximal exploitation for various purposes. In doing so, such applications often go over simple thematic presentation of collected data and using simulations and combining data from many information systems provide solutions for many complex and tricky tasks.

The water management sector has utilized GIS technologies already for a number of years at level of collection, processing, aggregation, analysis and publication of spatial data. Later, the phenomenon of integration and openness is touching also this area as it is clearly documented on simulation modelling technologies.. The goal of such trend is a flexible human interface configuration and intuitive working environment. The main purpose of this approach is seen in the integration of distinct functionalities and consequently in increased comfort and flexibility use.

Simulation software packages offer quite a number of results, which impact our perception of function, technical condition and investment priorities of individual structures in water supply and sewer systems. Such results, together with the analysis of technical network conditions based on GIS and data from other IS, should serve for optimized reconstruction planning of water supply and sewer network.

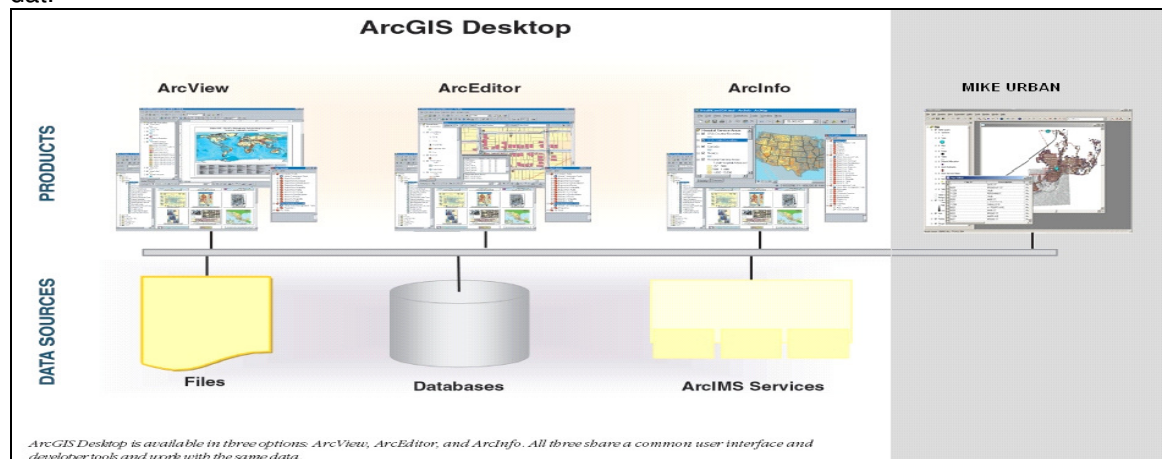
All owners of water supply or sewer systems, in accordance with a Czech legislation, must have in place a "Financial reconstruction plan for both water supply and sewer systems" prior to the deadline December 31, 2008. With regard to age of such system in most of our cities and towns, such financial load will be significant and the owners will have to pay great attention to optimization of investment. This optimization consist in targeting reconstruction on the most deteriorated parts of the system and optimal combination for solving conceptual needs, especially increasing of system capacity with maintenance of sufficient technical conditions in the system.

DHI Water • Environment • Health Group has developed an application for optimized reconstruction planning of water supply and sewer networks, integrated as a module in standard DHI simulation package MIKE URBAN. This tool uses plenty of data inputs from GIS, simulation results and other data sources. The evaluation of technical conditions is based on multi-criteria analysis. Resulted reconstruction plan consists in simulation of gradual system deterioration from one side and reconstruction of critical pipes form other during a specific future period, e.g. 30 years. Apart from the multi-criteria evaluation results, the reconstruction can be restricted by selected technical and financial limits, which can be specific for each year of the simulated period. As a result, clear impact of elected reconstruction strategy, both from technical and financial point of view is visible. Technically, we can observe increase/decrease of leakage, failure rate, age of the system etc. Financially, the investment load and operational cost are significant outputs.

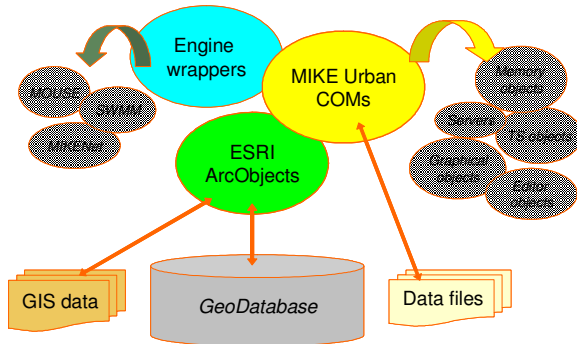
. **Keywords:** GIS, network rehabilitation, network modelling

1 Architektura a technologie programu MIKE URBAN

Program MIKE URBAN představuje technologicky nový směr rozvoje skupiny DHI Water & Environment. Produkt je funkčně založen na platformě ESRI ArcGIS 9.3 (v.2009). Tento fakt zásadně předurčuje jeho rysy a celkovou funkčnost. Komponentní povaha ArcGIS 9.3 s využitím objektů ArcObjects, která představuje technologický základ architektury řešení programu MIKE URBAN, navíc poskytuje garanci pro dlouhodobou kontinuitu vývoje tohoto programu v návaznosti na vývoj produktů ESRI. Tato standardizace má také velkou výhodu v oblasti datové komunikace. ESRI produkty jsou v současnosti standardem pro GIS řešení ve státní správě v ČR i v zahraničí. Při komunikaci programu MIKE URBAN s městským informačním systémem (MIS) tedy velmi často odpadá problém konverze dat.



Obr. 1 Koncept produktu MikeUrban v rámci ArcGIS Desktop řešení



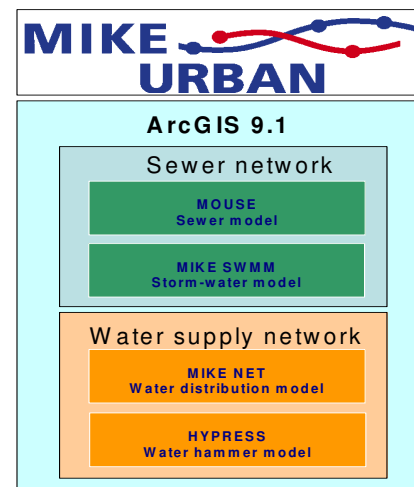
Obr. 2 COM architektura MikeUrban

Strukturální i grafická data programu jsou uložena v geodatabázi. Tento fakt se ukazuje jako stěžejní z hlediska datové konzistence, dlouhodobé údržby a využití dat modelu. Data zpracovaná v programu MIKE URBAN jsou kompatibilní s produkty ArcGIS, proto v nich mohou být okamžitě dále použita pro publikování na internetu nebo v jiných standardních GIS systémech. Pomocí Arc ToolBox pak je možno převádět data do prakticky všech současných datových formátů. MIKE URBAN navíc umožňuje ukládání i agregovaných výsledků simulací v podobě max., min., průměrná hodnota, atd. pro následné analýzy a dokumentaci projektu.

prostředí je možno pracovat paralelně s modelem vodovodní i kanalizační sítě a přitom vzájemně využívat strukturálních dat a dat výsledků simulací. Program navíc s ohledem na svou komponentní strukturu umožňuje uživateli výběr ze souboru výpočetních modulů simulačního modelu. V současné verzi je podporován výpočet pomocí MOUSE, SWMM, EPANET a výpočet vodního rázu (HYPRESS). Výpočty lze provádět paralelně, jakož i paralelně analyzovat a srovnávat výsledky jejich simulací.

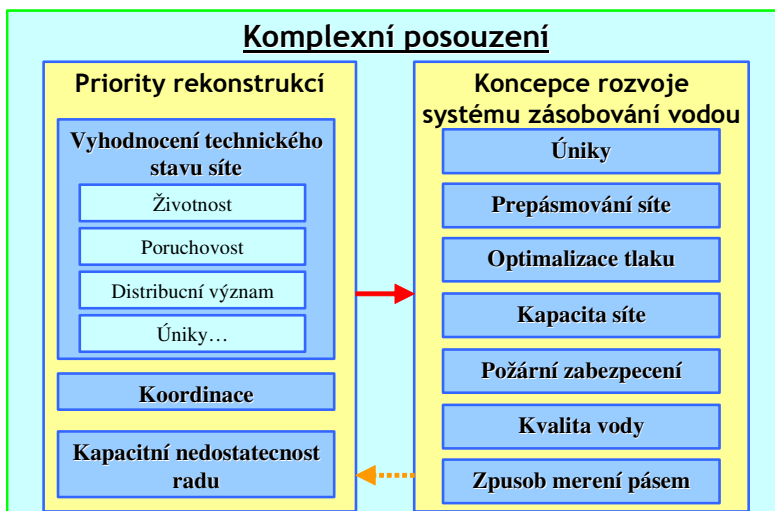
MIKE URBAN je plně konfigurovatelný systém pomocí jednoduchých XML souborů. Konfigurovat lze nejen jazyk uživatelského rozhraní ale také uživatelské jednotky, importy a exporty dat. Zručnější programátor je navíc schopen bez problémů vytvořit (např. s použitím Visual Basic) pro prostředí MIKE URBAN svoji vlastní uživatelskou extenzi – funkcionalitu, která pracuje s daty uživatelsky definovaným způsobem. MIKE URBAN se tak díky své architektuře stává naprosto otevřeným, komponentním, modifikovatelným systémem.

Všechny výše uvedené vlastnosti systém MIKE URBAN umožňují rozvoj aplikací, které dále rozšiřují jeho funkcionalitu do oblastí i mimo vlastní simulace proudění vody.



Obr. 3 Integrace modelů

2 Zásady vyhodnocení technického stavu vodovodní sítě



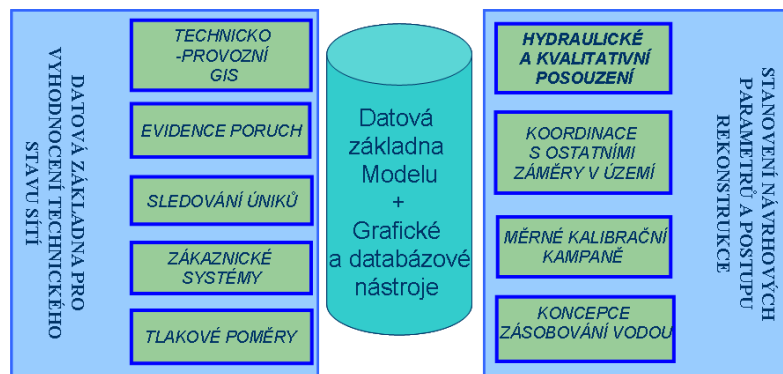
Obr. 4 Obecné schéma komplexního posouzení systému zásobení vodou

Obecný postup vyhodnocení technického stavu vodovodní sítě a následného plánování obnovy sítě je založeno na multikriteriálním vyhodnocení zvolených parametrů. Návrh metodiky a způsob vyhodnocení lze plně přizpůsobit konkrétním podmínkám a požadavkům. Vyhodnocení technického stavu sítě a navazující plán rekonstrukce je integrovanou součástí komplexního posouzení a návrhu rozvoje systému zásobení vodou, v návaznosti na hydraulické posouzení sítě, jak je patrné na Obr. 4.

Multikriteriální vyhodnocení technického stavu sítě je

implementováno v softwarovém prostředí MIKE URBAN plně využívajícím geografickou podporu postavenou na platformě ESRI ArcGIS. Tato volba nám poskytuje jedinečné grafické zpracování vstupů a výstupů řešení.

3 Datová základna pro vyhodnocení technického stavu a plánu obnovy vodovodní sítě



Vyhodnocení technického stavu vodovodní sítě a návrh priority obnovy se opírá o hromadné zpracování dat. Znamená to, že základní technické ukazatele pro hodnocení jsou plně určovány na základě datové základny GIS (stáří řady, materiál řady, poruchovost, koroze atd.). Datová základna modelu tak vznikla na podkladě technicko-provozní GIS databáze.

Obr. 5 Využití datové základny pro zpracování projektu na bázi MIKE URBAN

Dalším základním faktorem určujícím technický stav sítě jsou údaje úniků vody, které byly zjištěny rozбором distribuce

úniků v jednotlivých zásobních pásmech a distriktech vodovodní sítě v předchozích etapách projektu. Postup vytvoření datové struktury a její následné využití pro vyhodnocení technického stavu sítě a návrhu postupu rekonstrukce je graficky znázorněn na Obr. 5.

Kromě dat zjištěných rozбором stávajícího technického stavu sítě je velice důležitým vstupem pro simulaci procesu rekonstrukce vodovodní sítě systém křivek, které popisují stárnutí vodovodních řadů. Jedná se především o závislosti poruchovosti, velikosti úniků, koroze na stáří vodovodních řadů. Křivky jsou vytvořeny samostatně z hlediska jednotlivých trubních materiálů a případně i jiných charakteristik trubních řadů.

4 Model MIKE URBAN jako nástroj vyhodnocení technického stavu vodovodní sítě

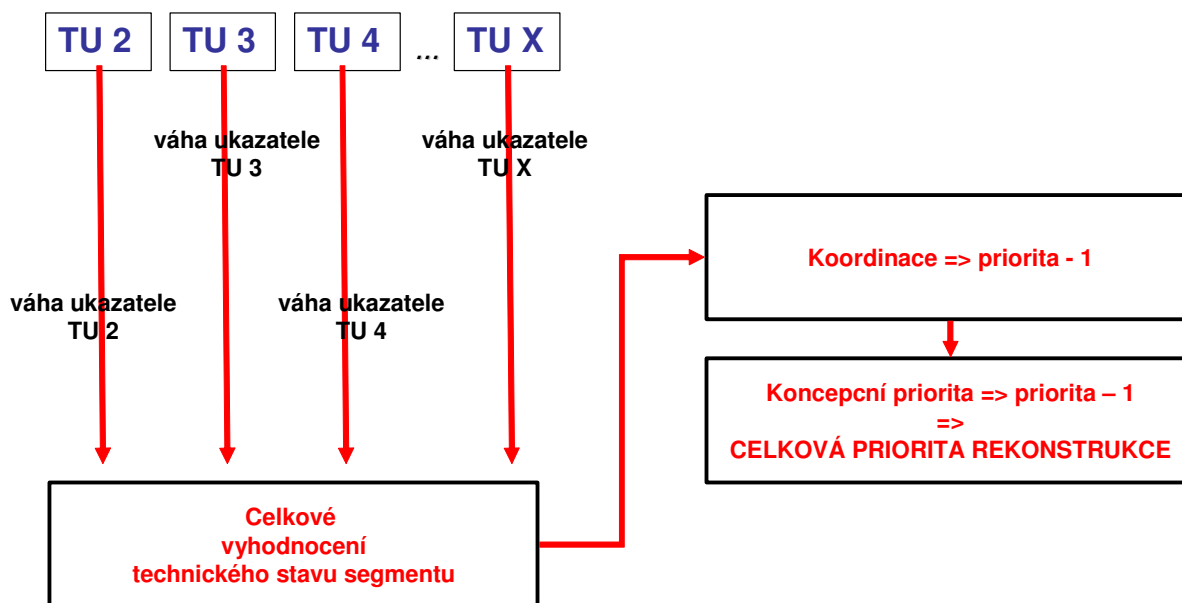
Matematický model efektivně využívající datovou základnu je základním nástrojem pro vyhodnocení technického stavu vodovodní sítě a stanovení priorit obnovy. V rámci zpracování projektu jsme využívali silné grafické a databázové funkce modelu především v rámci zpracování dat stáří, poruchovosti, úniků atd. Výsledky technického hodnocení a priorit obnovy jsou přímou součástí datové struktury modelu a lze je tedy přirozeně aplikovat v rámci návrhu výhledového stavu včetně zahrnutí požadavků správce sítě. Navržené varianty obnovy sítě lze pak velice snadno hydraulicky posoudit.

Vlastní data potřebná pro vyhodnocení technického stavu lze v modelu, stejně jako vlastní datovou základnu modelu, průběžně aktualizovat. Takto lze systém hodnocení technického stavu efektivně používat jako nástroj soustavného sledování stavu sítě. Interaktivní přístup a nástroje modelu umožňují velmi snadnou aktualizaci plánování obnovy sítě a kontinuální ucelené řešení koncepce rozvoje vodovodní sítě v území.

5 Charakteristika aplikovaného přístupu a základní vlastnosti technologie vyhodnocení technického stavu a tvorby plánu obnovy

Obecná metodika multikriteriálního vyhodnocení sítě je vždy po konzultaci se správcem a provozovatelem sítě, především na základě dostupnosti dat, dále upravena dle konkrétních požadavků klienta.

Metodika pracuje s jednotlivými konkrétními technickými ukazateli (TU), jimž je přiřazena váha ukazatele dle jeho významu pro technický stav sítě a plánování rekonstrukcí. Vyhodnocení technického stavu a výsledná volba priority rekonstrukce je pro jeden segment sítě zobrazena na Obr. 6.



Obr. 6 Multikriteriální vyhodnocení technického stavu a priorita rekonstrukce segmentu sítě

Například pro vyhodnocení technického stavu vodovodní sítě a pro plán její obnovy je použito následujících osm základních technických ukazatelů. Konkrétní ukazatele lze rozdělit na ukazatele s přímým vyhodnocením a na ukazatele odvozené.

Ukazatele s přímým vyhodnocením jsou pro jednotlivé segmenty přímo odvozeny ze vstupních podkladů. Pro odvozené ukazatele nemáme vstupní podklady, ze kterých lze přímo odvodit hodnotu ukazatele jednotlivého segmentu. Odvození je provedeno buď na základě hodnot jiných ukazatelů, nebo je známa celková hodnota, např. pro celé zásobní pásmo a na základě určitých pravidel se odvozují hodnoty jednotlivých segmentů sítě.

Mezi ukazatele s přímým vyhodnocením patří:

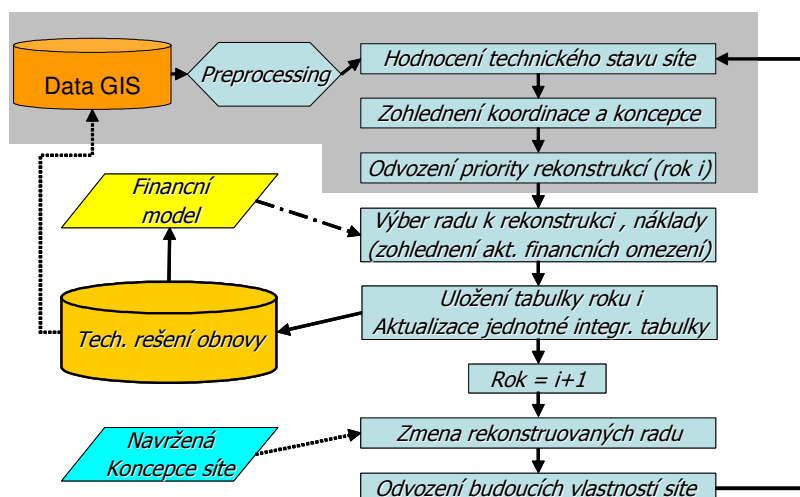
- Poruchovost
- Stáří potrubí
- Koroze potrubí
- Obtížnost provádění oprav

Kritéria odvozená na základě jiných ukazatelů jsou:

- Armatury
- Únik vody
- Inkrustace potrubí
- Distribuční význam

6 Princip dlouhodobé simulace plánu obnovy sítě

Plánování obnovy vodovodní a kanalizační sítě je každoroční dlouhodobý proces, který by měl sledovat určité cíle a strategii na základě ucelené a odsouhlasené metodiky. Stanovení metodiky pro výběr řadů pro rekonstrukci nemá tedy dopad pouze pro aktuální situaci, ale má dlouhodobý vliv na



Obr. 7 Princip dlouhodobé simulace obnovy sítě

obnovy sítě zvoleno 30 let.

Na následujícím Obr. 7 je znázorněn proces simulace. Po přípravě dat v nástroji především z dat GIS ale i z jiných datových zdrojů je provedeno vyhodnocení jednotlivých technických ukazatelů a odvození návrh rekonstrukce sítě v prvním roce. Výsledek je spolu s dopočtenými investičními náklady a dalšími ukazateli uložen.

Poté simulace pokročí o rok, kdy dojde k patřičné změně segmentů, které byly v minulém roce rekonstruovány. U nich jsou nastaveny vlastnosti nových řadů. Velice podstatná je také změna hodnot technických ukazatelů všech ostatních segmentů sítě podchycující proces stárnutí sítě.

Na takto změněných parametrech sítě se opět provede vyhodnocení obnovy pro rok $i+1$ a proces se opakuje pro celou nastavenou délku simulace.

Dále je potřeba definovat finanční limit rekonstrukce definovaný pro jednotlivé roky simulovaného období. Finanční limit je v zásadě domluvená maximálně možná hodnota investice plánovaná pro daný rok, vycházející především z disponibilních finančních prostředků investor, ale i možností investiční přípravy atd.. Část sítě, která se do limitu pro rekonstrukce v tomto roce nedostane, je poté přesunuta do roku následujícího.

Vyhodnocení dopadů přijaté strategie obnovy sítě je tak možné vyhodnotit jak pro jednotlivé roky simulovaného období tak v podobě ukazatelů platných pro celé simulované období, jako je průměrné tempo rekonstrukce, celková a průměrná výše investičních nákladů, trend stárnutí sítě, trend vývoje nákladů na opravy a na úniky vody, porovnání investičních nákladů a provozních úspor atd.

7 Kroky projektu

Plánování obnovy vodovodní sítě musí vycházet z optimalizované strategie obnovy vodovodní sítě založené na simulaci podle prověřené a navzájem odsouhlasené metodiky. Z toho také vychází jednotlivé kroky projektu, kdy po simulaci provedené pro vstupní (originální) metodiku jsou provedeny simulace i pro další varianty metodiky a diskusí výsledků se zadavatelem je vybrána optimální strategie obnovy vodovodní sítě. Tomuto záměru odpovídá následující pracovní postup návrhu plánování obnovy sítě. Bod 5 je možno aplikovat v případě tvorby detailních plánů obnovy.

1. Úprava (tvorba) metodiky pro vyhodnocení technického stavu sítě a tvorby plánu obnovy na základě charakteru vstupních dat.
2. Příprava vstupních dat.
3. Vyhodnocení prvotních technických nároků na obnovu sítě:
 - a. Spuštění nástroje bez omezení.
 - b. Analýza prvotních výstupů finanční, technická.
4. Diskuze výsledků se zadavatelem, výpočet pro další varianty metodiky, výběr finální varianty.
5. Finalizace návrhu - sdružování rekonstruovaných řadů do investičních celků definovaných prostorově a časově.

technické parametry sítě a především na ekonomické ukazatele. Tím se myslí samozřejmě především potřebné investiční prostředky na obnovu řadů, ale i vývoj provozních nákladů především spojených s opravami poruch a úniky vody z vodovodní sítě.

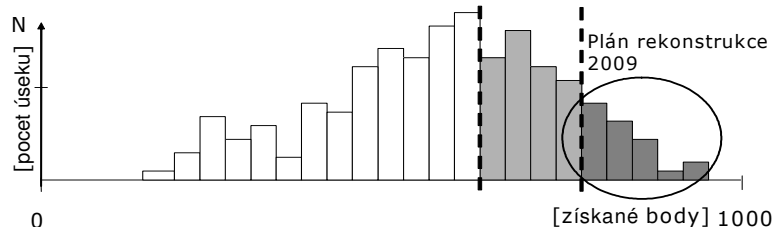
Z hlediska objektivního vyhodnocení dopadu zvolené strategie obnovy vodovodní sítě a především její optimalizace je tedy naprosto stěžejní vyhodnocení z hlediska delšího časového období. V případě většiny zpracovaných projektů bylo období simulace procesu

6. Analýza konečného návrhu a finální výstupy.

8 Příklad výstupů

Výstupy nástroje pro tvorbu plánů obnovy jsou velice rozsáhlé a různorodé. Jedná se o tématické mapy, tabulkové a grafické výstupy plánu obnovy řadů, vyhodnocení jednotlivých ukazatelů, finančních nároků, vývoje provozních nákladů atd. Zde je uvedeno pouze několik zajímavých příkladů.

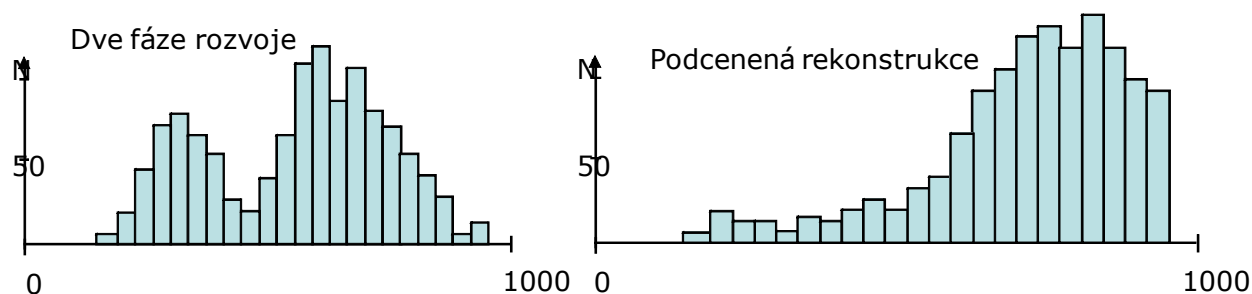
Metoda multi-kriteriální analýzy provádí sumarizaci celkového skóre jednotlivých úseků sítě přes všechny zvolené ukazatele a jejich váhy. Vhodným zvolením rozsahu stavových tříd jednotlivých ukazatelů a jejich vah je možno docílit celkového výsledného rozsahu skóre úseku sítě např. v rozsahu 1 - 1000. Aktuální dosažené skóre jednotlivého úseku v rámci celého rozsahu pak indikuje míru jeho náchylnosti pro rekonstrukci. Skutečné zařazení úseku do programu rekonstrukcí v daném roce se pak odvíjí od zvolené limitní hodnoty celkového skóre úseku definované na základě empirických znalostí a zkušeností v souladu s analýzou stavu konkrétní sítě v dané lokalitě. Všechny úseky přesahující zvolený limit jsou pak označeny jako vhodné pro rekonstrukci. K těmto úsekům pak lze dopočítat předpokládané náklady na rekonstrukce např. podle Metodického pokynu Mze



„Metodický pokyn pro orientační ukazatele výpočtu pořizovací ceny objektů do vybraných údajů majetkové evidence vodovodů a kanalizací, pro plány rozvoje vodovodů a kanalizací a pro plány financování obnovy vodovodů a kanalizací“ z r. 2007.

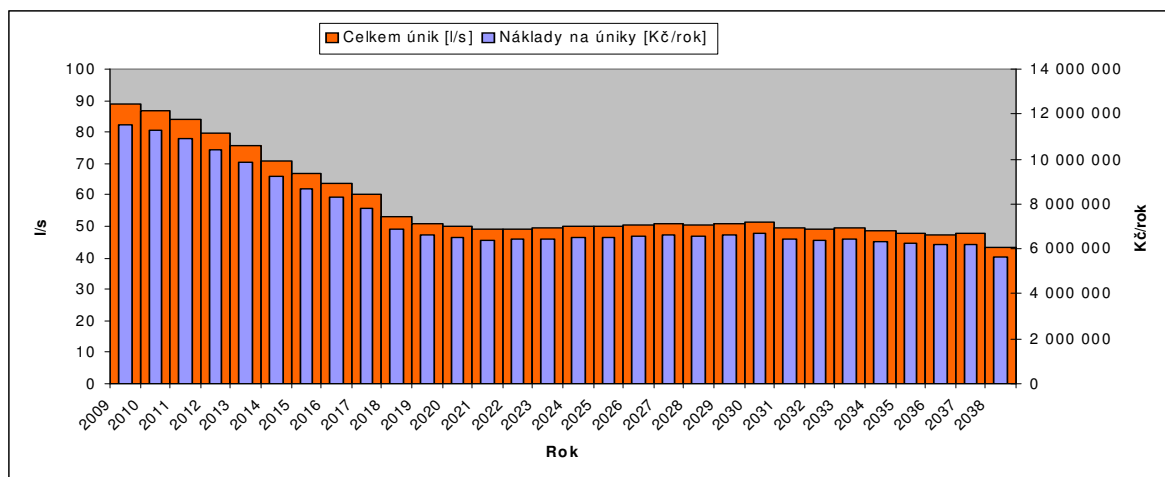
Obr. 8 Histogram četnosti dosaženého skóre úseků stokové sítě pro plánování rekonstrukcí

Vhodnou formou informující o stavu sítě a presentace výsledků multikriteriální analýzy je histogram četnosti skóre jednotlivých úseků (Obr. 8). Tento histogram podává sumární informaci o aktuálním stavu celé sítě v daném časovém horizontu. Na jeho základě je možno obecně rozpoznat některá základní fakta o síti jako je na příklad podceněná investice do rekonstrukcí nebo různé fáze rozvoje sítě (Obr. 9).

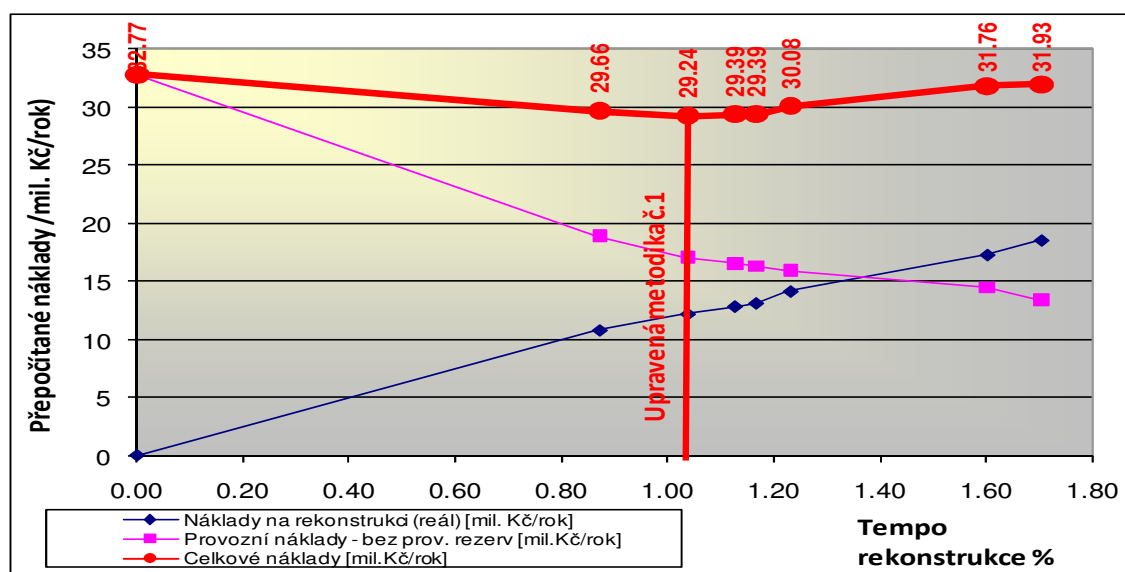


Obr. 9 Histogram četnosti dosaženého skóre úseků stokové sítě pro různé stavy sítě

V závislosti na dostupnosti vstupních dat a na seznamu použitých ukazatelů je možno pro simulované období vyhodnotit pro jednotlivé řešené scénáře i předpokládaný vývoj jednotlivých ukazatelů. U vodovodních sítí je zajímavý především únik vody a počet poruch. Následně je možno vyhodnotit i výhled vývoje souvisejících provozních nákladů (Obr. 10). Případně je možno provést součet souvisejících provozních nákladů (Obr. 11).



Obr. 10 Simulovaný vývoj úniků vody a cena úniků



Obr. 11 Ekonomické vyhodnocení řešených variant v plánu obnovy vodovodní sítě, princip vyhodnocení optimálního tempa obnovy sítě

9 Závěr

Dlouhodobá, plánovaná údržba a obnova vodovodní a kanalizační sítě patří ke klíčovým úkolům podniků vodovodů a kanalizací. Plány investic do rekonstrukce a obnovy sítí jsou tudíž významným dokumentem ovlivňujícím nejen dlouhodobou funkci celého systému ale i hospodářské výsledky těchto organizací. Přitom zpracování plánu rekonstrukcí je zatíženo velkým množstvím nejistot pramenících z nedostatku informací o stavu této infrastruktury. Je proto vhodné využít pro plánování rekonstrukcí nejlepší dostupné možnosti a postupy, kombinovat dostupné datové zdroje, z nichž jsou nejdůležitější GIS, provozní evidence a výsledky hydraulických modelů.

V předloženém příspěvku byl popsán postup a technologické zázemí pro systematické dlouhodobé plánování rekonstrukcí na základě volby klíčových ukazatelů stavu sítě a s využitím metod multi-kriteriální analýzy. Popsaný postup je možno modifikovat podle aktuální situace dané lokality a navíc je možné výpočet provádět paralelně pro vodovodní i kanalizační síť. Při tomto souběžném řešení rekonstrukcí obou sítí je možno dosáhnout značných investičních úspor s ohledem na koordinaci obou plánů v čase a prostoru. Využití informačních technologií a kombinace provozních informací a

informací získaných výpočtem na simulačním modelu sítě představuje podle autorů článku správnou cestu pro optimalizaci investic do rekonstrukcí v prostoru a čase.

Vyhodnocení technického stavu sítě a tvorba plánu její obnovy na základě simulace pro výhledové časové období umožňuje dlouhodobější pohled na potřeby obnovy sítě. Tento přístup také umožňuje sledovat vzájemné ovlivňování investičních a provozních prostředků v závislosti na zvoleném tempu a strategii obnovy sítě a finanční optimalizaci celého procesu z hlediska dlouhodobé simulace. Pro přiblížení procesu plánování obnovy reálné praxi je naprosto nezbytné zohlednění finančních limitů respektujících výhledové finanční prostředky správce v závislosti na disponibilních investičních zdrojích a pokrývání jiných investičních potřeb spravovaného majetku.

Reference

1. Metelka, T., Sviták, Z. Optimální plan obnovy kanalizační a vodovodní sítě jako kombinace provozních, majetkových a modelových informací, SOVAK, seminář "Plán financování obnovy", Praha 2008
2. Sviták, Z. a kol., Generel zásobování vodou města Ústí nad Labem, Projekt DHI a.s., Praha 2008
3. Metelka T., Hrabák D. a kol., Generel odvodnění města Františkovy Lázně, Projekt DHI a.s., Praha, 2008
4. National Research Council Canada 2/2008, planning the renewal of aging water website.