

# Posouzení Jihočeské vodárenské soustavy pomocí hydraulického modelu SiteFlow

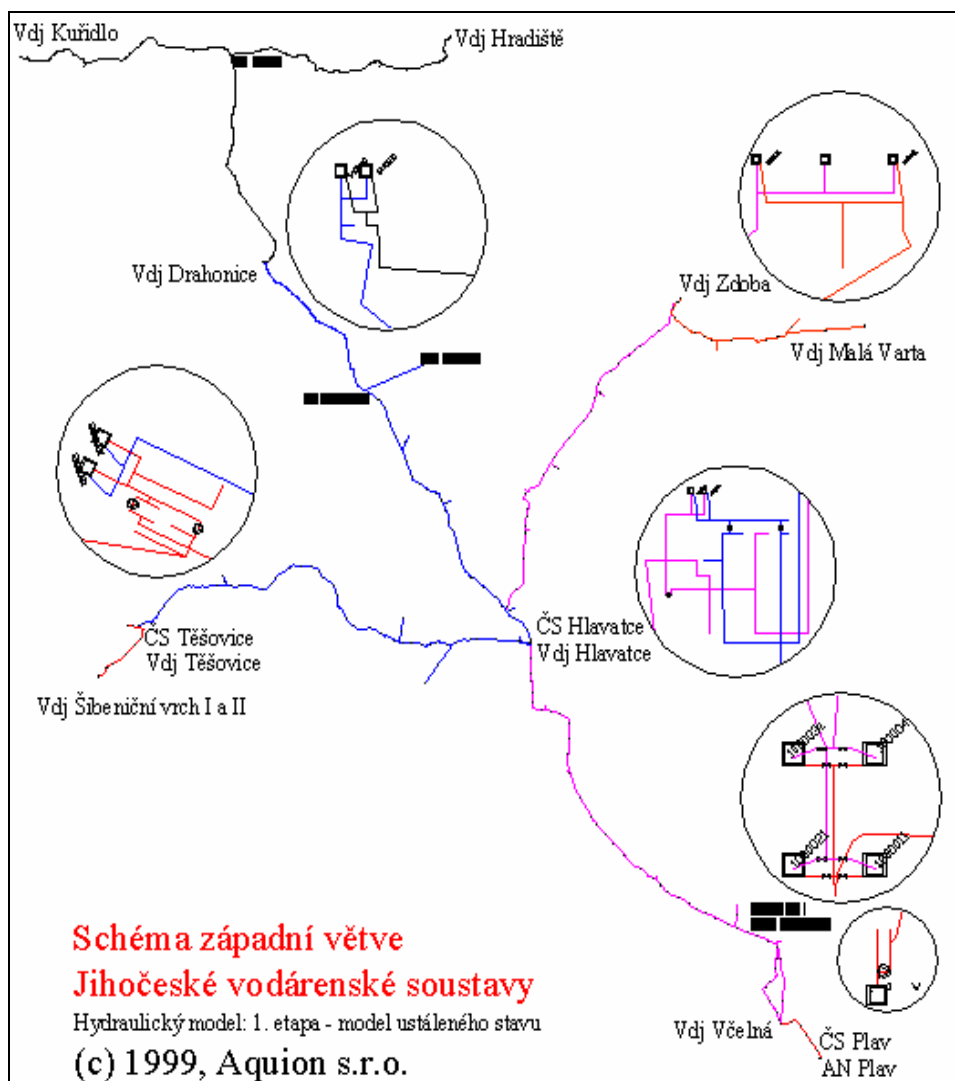
Lubomír Macek<sup>1</sup>, Marek Slaviček<sup>2</sup> a Vladimír Fürth<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Aquion s.r.o., Praha

<sup>2</sup>Katedra zdravotního inženýrství Fakulty stavební ČVUT, Praha

<sup>3</sup>Jihočeský vodárenský svaz, České Budějovice

Příspěvek se zabývá využitím hydraulického modelu pro posouzení provozu severozápadní větve Jihočeské vodárenské soustavy. Model je vytvořen na základě kombinace dat z pasportu vodovodu, z geografického informačního systému VKJČ a.s. a z dispečerských schémat. Zahrnuje 160 km přiváděcího potrubí, přes 15 vodojemů a několik čerpacích stanic. Model je využitelný pro posuzování proudění a tlaků v potrubí, pro odhad množství odkalené vody, posouzení doby zdržení v soustavě a tvoří základ pro posuzování změn kvality vody v soustavě. Příspěvek se zabývá zkušenostmi, které byly získány při zpracování, kalibraci a ověřování modelu.



Obr. 1 Schématická situace severozápadní větve Jihočeské vodárenské soustavy.

## Popis lokality

Severozápadní větev Jihočeské vodárenské soustavy je napájena z úpravny vody Plav. Voda je čerpána jedním ze tří velkých čerpadel nebo jedním menším čerpadlem do Vodojemu Včelná (viz. obr. 1 a 4). Z vodojemu Včelná voda teče gravitačně do vodojemu Hlavatce a na této části jsou dva velké odběry pro České Budějovice. Z vodojemu Hlavatce je voda čerpána třemi směry: do vodojemu Těšovice pro Prachatice, do vodojemu Zdoba pro Týn nad Vltavou a dále do vodojemu Drahonice. Voda z vodojemu Drahonice pokračuje gravitací do vodojemů pro Strakonice a Písek. Z čerpací stanice Těšovice je voda čerpána do vodojemů pro Prachatice. Do této severozápadní větve vodárenské soustavy je v průměru dodáváno přes  $400 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ . Původně bylo plánováno, že voda bude dopravována až, do Příbrami. Tomu odpovídají velké průměry potrubí.

## Cíle hydraulického modelu

Cílem hydraulického modelování severozápadní větve Jihočeské vodárenské soustavy je podpora řízení soustavy s cílem optimalizovat dopravu a čerpání vody a optimalizovat chlorování a dochlórování vody. Hydraulického modelování bude využito při plánování provozních zásahů.

Hydraulický model jsme sestavili tak, aby v co největší míře odpovídal reálné vodárenské soustavě. Vznikne tak nástroj, který na exaktním základu podpoří plánování provozu a vlastní provoz soustavy. Tento nástroj umožní kombinovat znalosti a zkušenosti pracovníků provozu a dispečinku, dispečerského měření a hydraulického modelování. V první fázi jde o sestavení a ověření modelu ustáleného stavu soustavy a vytvoření předpokladů pro sestavení časově pomalu proměnného modelu soustavy.

Při sestavování hydraulického modelu jsme požadovali, aby byl integrován s geografickým informačním systémem – hydraulický model využívá stejná polohopisná data, a s dispečinkem – modely objektů například odpovídají dispečerským schémátům.

Dalším cílem je provést ověření modelu na základě provozních měření.

## Popis hydraulického modelu

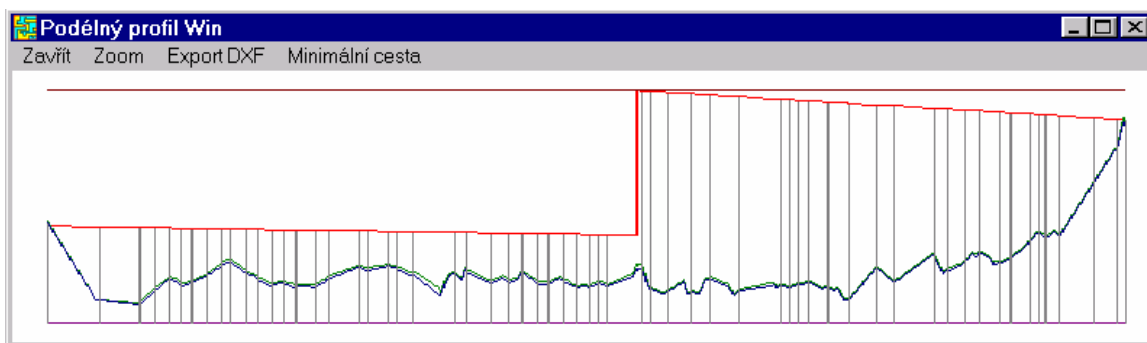
Vlastní hydraulický model má přes 1600 uzlů, 3 čerpací stanice s 18 čerpadly, 11 tlakově závislých vodojemů, 9 aktivních regulačních a škrťacích uzávěrů. Dalších 69 uzávěrů je možné v případě potřeby použít v modelu pro simulování vlivu manipulací na vodárenskou soustavu. Celková délka potrubí modelované části Jihočeské vodárenské soustavy dosahuje 160 km.

Hydraulický model je sestaven tak, aby v maximální možné míře odpovídal skutečnosti. K sestavení hydraulického modelu bylo nutné zkombinovat data z existujícího papírového pasportu, z geografického informačního systému vodárny, který ve značné části vychází z geodetického zaměření výškového (viz obr. 2) a polohopisného. Model jednotlivých objektů byl sestaven tak, aby byl přehledný. Namodelované objekty kopírují dispečerská schémata, takže budoucí využití modelu pro podporu dispečerského řízení bude snadné. V případě potřeby je možné vytvořit variantu modelu, která bude odpovídat stavebnímu uspořádání objektů. Data byla doplněna na základě evidence čerpadel, o jejich charakteristiky. Model odběrů byl sestaven ve spolupráci s Jihočeským vodárenským svazem tak, aby byl shodný se skutečností.

## Vytváření hydraulického modelu

Hydraulický model ustáleného stavu byl vytvářen v průběhu roku 1999. Na základě papírových výkresů pasportu soustavy a dat z geografického informačního systému vodárny byl v první fázi vytvořen topologický model soustavy. V další fázi byla transformována dispečerská schémata do modelu jednotlivých objektů (viz obr. 3). Po sestavení základního topologického modelu, který umožňuje manipulovat se všemi aktivními prvky, byla do modelu transformována dispečerská schémata jednotlivých složitějších objektů. Důvodem pro tuto transformaci je umožnit dispečerovi, který zná velmi dobře dispečerská schémata objektů, aby se stejně rychle orientoval v hydraulickém modelu.

Po sestavení hydraulického modelu proběhlo jeho doladování a upřesňování. Kontrola jednotlivých částí modelu spočívá v optické kontrole polohopisného a výškopisného uspořádání modelu. Pro tuto část se využijí situace a podélné profily vytvářené automaticky použitým programem. Paralelně s optickou kontrolou ve všech třech dimenzích probíhá kontrola logického uspořádání a návaznosti dat, topologické analýzy, které pomohou odhalit například vícenásobné úseky. Hydraulické modelování uzavírá systém kontrol a doladování modelu.



Obr. 2 Přehledný podélný profil části vodojem Včelná – čerpací stanice Hlavatce – vodojem Zdoba (okno programu SiteFlow).

## Použitý software

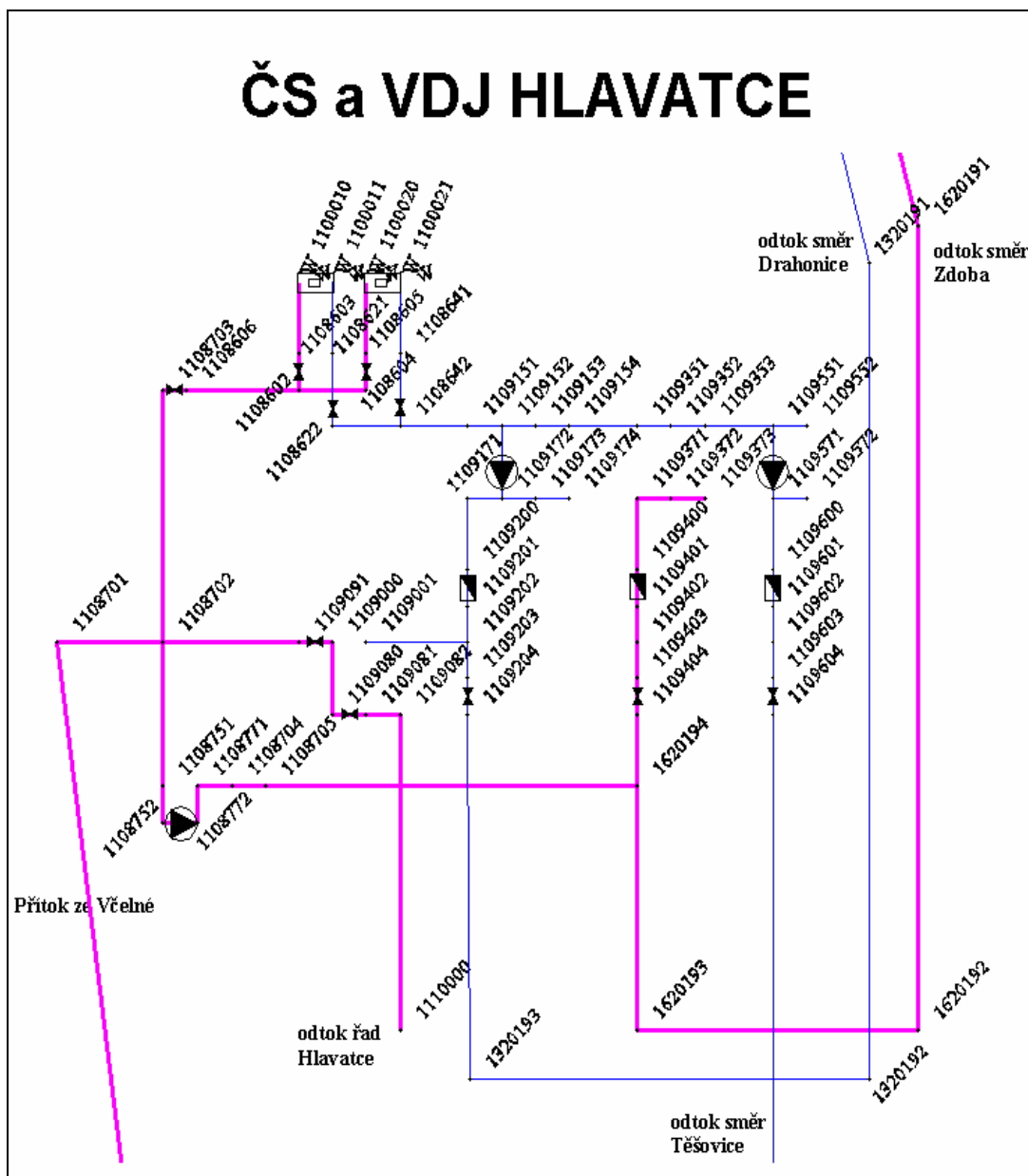
Pro vytvoření hydraulického modelu bylo použito několik programů. Grafická část geografického informačního systému vodárny je v souborech typu dgn, které byly naimportovány do AutoCAD MAPu a veškerá další grafická práce pokračovala v tomto prostředí. Hydraulický model byl zpracováván v programu SiteFlow. V tomto programu proběhlo vytvoření, kalibrace a ověření hydraulického modelu. Program SiteFlow má pro nás několik výhod: jsou v něm integrovány opravdu kompletní kontroly správnosti dat hydraulického modelu, umožňuje velmi rychle zobrazovat podélné profily z dat hydraulického modelu. Výhodou je generování situace z dat hydraulického modelu, což umožní rychle vytvořit situaci jako na obr. 1. V situaci na obr. 1 jsou znázorněny detaily modelu jednotlivých armaturních komor a čerpacích stanic s právě pracujícími čerpadly.

## Použitá metodika

Hydraulický model vychází z psaných a nepsaných požadavků na jeho správné sestavení a strukturu, které vycházejí jak ze zkušeností v České Republice (prof. Šerek, 1985), tak z mezinárodních zkušeností (doporučení IWSA, EPA a dalších).

## Výhody integrace hydraulického modelu a GIS

Výhodou integrace hydraulického modelu a dat geografického informačního systému vodárny je snížení nákladů na pořízení dat hydraulického modelu a zvýšení kvality dat. To, že model využívá dat z výškopisného a polohopisného zaměření potrubí umožňuje přesně stanovit tlaky v jednotlivých místech potrubí a přesně stanovit průtoky při tlakově závislém proudění – např. při vypouštění potrubí. Výsledky modelování v podobě přehledného podélného profilu mají díky tomu podstatně vyšší vypovídací schopnost (viz obr. 2). Pokrok technologie v současné době umožňuje integrovat hydraulický model prakticky s libovolným GIS, podmínkou je správná struktura výchozích dat.



Obr. 3 Detail modelu čerpačské stanice a vodojemu Hlavatce.

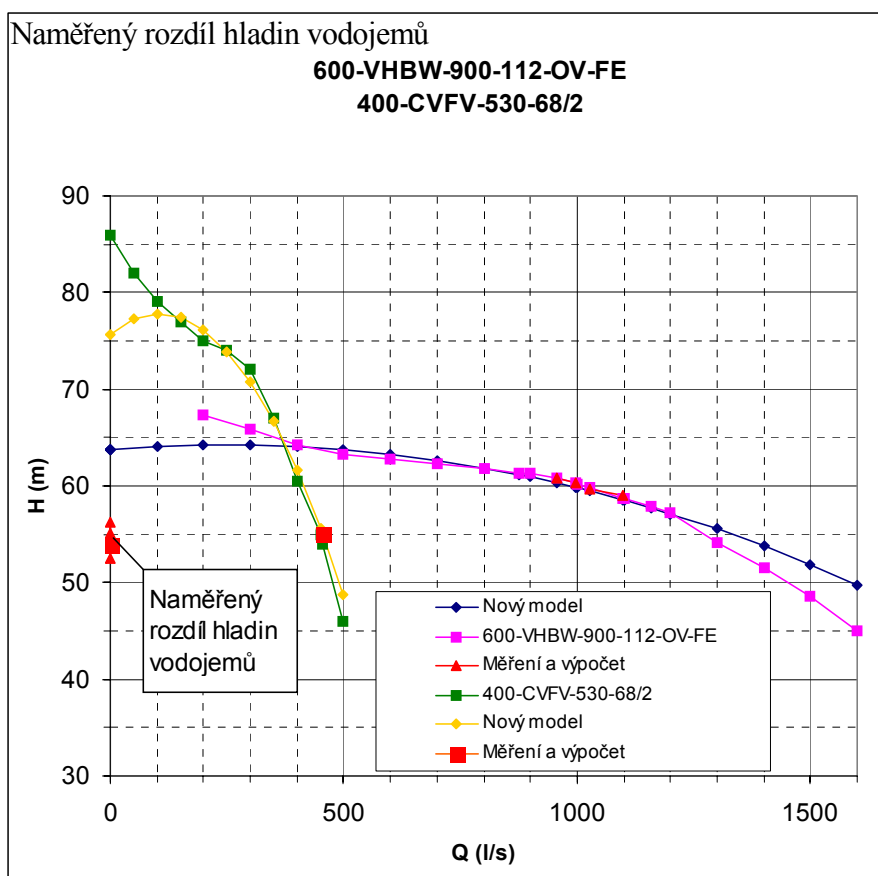
## Výhody integrace hydraulického modelu a dispečerského řízení

Výhod propojení hydraulického modelu a dispečinku je několik. Pokud modelové schéma objektů odpovídá dispečerským schémátům, znamená to větší přehlednost a lepší ovladatelnost modelu personálem dispečinku. Model může být jednoduše napojen na on-line měření provozních veličin vodárenské soustavy a na jejich základě modelovat právě zaznamenaný stav vodárenské soustavy. Ve spojení s krátkodobým prognózováním odběrů vody se jedná o nástroj, který pomáhá ověřovat jednotlivé provozní stavy vodárenské soustavy a pomáhá odhalovat příčiny mimořádných stavů.

Na obr. 3 je zobrazen model čerpací stanice a vodojemů Hlavatce. Voda přitéká vlevo dole z vodojemu Včelná, čerpá se dále do tří směrů (Drahonice, Těšovice a Zdoba) a současně zásobuje gravitačně přilehlou obec.

## Možnosti hydraulického modelu

Možnosti použití hydraulického modelu vodárenské soustavy či vodovodu jsou široké – je možné modelovat jeho stav právě v tomto okamžiku a porovnáním naměřených a namodelovaných hodnot průtoků a tlaků ověřovat správnost měření. Při plánování provozních manipulací je možné pomocí hydraulického modelu ověřit předpokládané změny tlaků a průtoků v soustavě. V neposlední řadě je hydraulický model nástrojem pro optimalizaci dopravy a čerpání vody, pro výpočty množství vody spotřebované při odkalení potrubí a pro optimalizaci chlorování a dochlórování vody ve vodárenské soustavě či vodovodech.



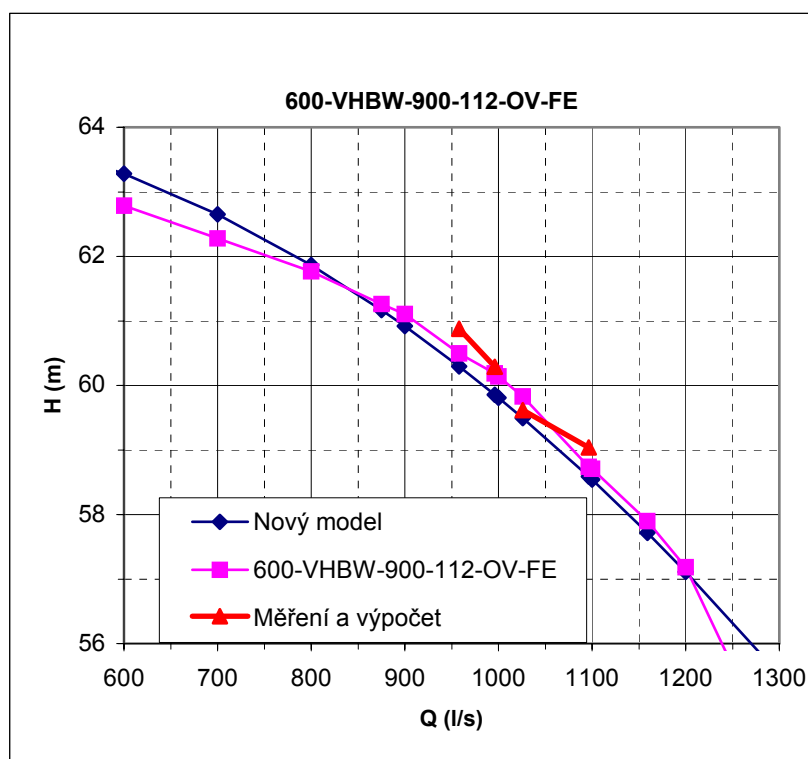
Obr. 4 Ověření části modelu úprava vody Plav – vodojem Včelná  
Naměřený rozdíl hladin vodojemů

## Ověření hydraulického modelu na příkladu úseku úpravna vody Plav – vodojem Včelná

Po sestavení a odladění hydraulického modelu následuje jeho kalibrace a ověření. Pokud je to možné, doporučujeme použít pro tyto účely měření běžných provozních stavů, kdy se využije různých úrovní hladin v počátečních a koncových vodojemech. Pro vlastní kalibraci a ověření by bylo vhodnější použít tam, kde je to možné, souběhu více čerpadel. To však znamená velkou změnu v hydraulice systému, která by sice dala dobré podklady pro kalibraci a ověření modelu, ale mohla by uvolnit sedimenty v potrubí. Z tohoto důvodu doporučujeme provádět a využívat pouze běžně dostupných provozních stavů.

Model jsme ověřovali na dílčích modelech jednotlivých částí, postupně tak vzniklo 7 a 10 dílčích hydraulických modelů. Zmenšení ověřovaných modelů se příznivě projevilo na rychlostech výpočtu a vlastní době ověřování. Odchytky hydraulického modelu od skutečnosti se v případě, že je model dobře sestaven a zkalibrován, pohybují do  $\pm 3\%$ . V těch částech soustavy, kde není k dispozici dostatečné měření provozních parametrů, bude nutné provést měření in situ.

Na obr. 4 a 5 jsou zobrazeny výsledky modelování části soustavy mezi úpravnou vody Plav a vodojemem Včelná. Parabolické křivky představují modelové charakteristiky čerpadel, vzniklé aproximací 5 bodů charakteristiky čerpadla tak, aby odchylka modelu a skutečné charakteristiky v oblasti předpokládaných průtoků byla minimální. Pro další použití se nám jeví vhodnější používat pro modelování charakteristik čerpadel a uzávěrů interpolaci mezi odečtenými hodnotami.



Obr. 5 Ověření části modelu úpravna vody Plav – vodojem Včelná – detail grafu s ověřením při čerpání čerpadlem 600-VHBW-900-112-OV-FE

## **Závěr**

Během 1,5 roku byl sestaven a ověřen hydraulický model severozápadní větve Jihočeské vodárenské soustavy. Severozápadní větev představuje složitý potrubní systém, který se skládá z 160 km potrubí, 3 čerpacích stanic a 11 tlakově závislých vodojemů. Tomu odpovídala pracnost modelu.

Hydraulický model je výborným nástrojem pro podporu řízení a optimalizaci čerpání a dopravy a provozních manipulací soustavy. Integrace hydraulického modelu s GIS vodárny a dispečinkem snižuje náklady na pořízení topologických dat modelu a zvyšuje jeho přehlednost.

## **Literatura:**

Šerek, M. (1985): hydraulické výpočty vodovodních potrubí a sítí. In Tesařík, I.: Vodárenství, TP 7, SNTL Praha.

Kitter, H., Starke, W. a Wissel, D. (1985): Wasserversorgung, Verlag für Bauwesen, Berlin, 5. Přepřac.vydání

Manuály k programům EPANET, SiteFlow, AutoCAD MAP (1999).