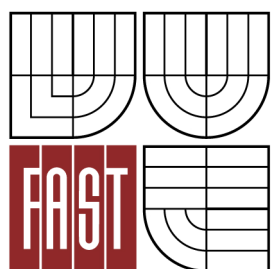




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER
MANAGEMENT

NÁVRH VODÁRENSKÝCH OBJEKTŮ S PODPOROU SIMULAČNÍHO SOFTWARE

DESIGN OF WATER SUPPLY FACILITIES WITH THE SUPPORT OF SIMULATION SOFTWARE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

Jakub Pešout

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE

Ing. TOMÁŠ KUČERA, Ph.D.

SUPERVISOR

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště Ústav vodního hospodářství obcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Jakub Pešout

Název Návrh vodárenských objektů s podporou
simulačního softwaru

Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.

**Datum zadání
bakalářské práce** 30. 11. 2012

**Datum odevzdání
bakalářské práce** 24. 5. 2013

V Brně dne 30. 11. 2012

.....
doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Vedoucí ústavu



.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

[1] TUHOVČÁK, L.; ADLER, P.; KUČERA, T.; RACLAVSKÝ, J.: Vodárenství. Studijní opora pro studijní programy s kombinovanou formou studia. Brno: VUT v Brně, 2006. s. 1-223.

[2] American Water Works Association. Water Quality and Treatment : A Handbook of Community Water Supplies. Fourth Edition. New York : McGraw-Hill, 1990. 1193 s. ISBN, 0-07-001540-6.

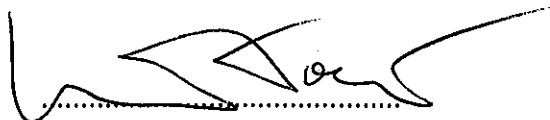
Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Student vytvoří přehled simulačních počítačových programů, které lze využít pro simulaci procesů ve vodárenství. Důraz bude kladen spíše na programy zabývající se technologií. U vybraných programů podrobněji popíše jejich funkci. Součástí bude i realizace několika jednoduchých vzorových příkladů s využitím vybraných programů. Volba programů bude prováděna dle pokynů vedoucího práce.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKTY A KLÍČOVÁ SLOVA

Abstrakt

Předmětem této bakalářské práce je návrh vodárenských objektů s podporou simulačního softwaru.

Součástí dokumentu je souhrn několika vybraných softwarových prostředků, které slouží přímo k návrhům vodárenských objektů, nebo slouží jako podpůrné programy. K tomuto přehledu je vždy vypsán stručný výpis informací o původu, základních zaměřeních, dostupnosti a případně i ceně na trhu.

Dále jsou jednotlivé programy rozdělené do čtyř základních skupin. V této části jsou blíže přiblíženy schopnosti programů, které se zabývají některou z následujících problematik:

- Problematika kvality vody
- Hydraulická analýza a simulace hydraulického chování
- Projektování vodovodních sítí
- Vytváření simulačních modelů

Následně jsou vybrány tři programy, u kterých jsou na vzorových příkladech ukázány, některé ze schopností programů. První vybraných software je Watpro, na kterém je proveden návrh úpravní vody a následné hledání vyhovujících dávek chemických přísad. Druhým programem je Epanet 2.0, kde je vypočítán vzorový příklad úniku vody z vodovodního potrubí a následné srovnání s výpočty podle rovnice. Posledním třetím programem je Watdis, u tohoto programu je spočítán stejný příklad na výpočet úniku vody z vodovodního potrubí a následné srovnání s výsledky z programu Epanet 2.0.

Tato práce přináší základní přehled sedmnácti vybraných programů a má poskytnout informace o nich potenciálnímu uživateli, z řad projektantů či studentů.

Klíčová slova

Jakost vody, hydraulická analýza, úpravní vody, simulační model, vodovodní potrubí, Epanet.

Abstract

The subject of the thesis is the design of water supply facilities with the support of a simulation software.

The document is a summary of representative software tools that are used to design water supply sites directly or serve as supportive programs. A short summary of the origin, primary focus, availability and market price of each tool is listed in the survey.

Furthermore the individual programs are divided into four groups. The section conveys the software's ability to deal with any of the following issues:

- Water quality
- Hydraulic analysis and simulation of hydraulic working
- Design of water network
- Creation of simulation models

Subsequently, three chosen programs are subjected to exemplary tests, demonstrating some of the capabilities. The first program is Watpro, on which a design of a water treatment plant is drafted and a subsequent search for the sufficient dose of chemical additives is executed. The second program Epanet 2.0 calculates a model test of a water leak from a pipeline. The result is then compared with the outcome of equation calculation. The last program is Watdis, with which the same example of pipeline leakage is calculated and subsequently compared to the Epanet 2.0 result.

The work's aim is to provide an overview of the seventeen selected programs and supply the information to potential users from the ranks of designers and students.

Keywords

Water quality, hydraulic analysis, water treatment plant, simulation model, water supply pipes, Epanet.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

PEŠOUT, Jakub. *Návrh vodárenských objektů s podporou simulačního softwaru*. Brno, 2013. 93 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Tomáš Kučera, Ph.D..

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24.5.2013

.....
podpis autora
Jakub Pešout

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Tomáši Kučerovi, Ph.D., za jeho odborné rady a připomínky při vypracování této práce.

OBSAH

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | ÚVOD | 12 |
| 2 | SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ..... | 13 |
| 2.1 | Matematické a fyzikální modelování | 13 |
| 2.2 | Možné typy řešených úloh | 14 |
| 2.2.1 | Modelování vodního rázu v potrubí | 14 |
| 2.2.2 | Modelování kvality vody v potrubí | 14 |
| 2.2.3 | Průtokové analýzy | 15 |
| 2.2.4 | Dostupnost dat v digitální podobě..... | 15 |
| 2.2.5 | Schématizace prvků potrubní sítě, hydraulické objekty | 16 |
| 2.2.6 | Uzlové odběry | 17 |
| 3 | PŘEHLED A ZÁKLADNÍ INFORMACE DOSTUPNÝCH PROGRAMECH | 18 |
| 4 | PROGRAMY ŘEŠÍCÍ PROBLEMATIKU MATEMATICKÉHO MODELOVÁNÍ VE VODÁRENSTVÍ..... | 34 |
| 4.1 | Problematika jakosti vody..... | 34 |
| 4.1.1 | Procesy úpravy | 34 |
| 4.1.2 | Dostupný software | 36 |
| 4.1.2.1 | <i>WATPRO</i> | 36 |
| 4.1.2.2 | <i>Mike Urban</i> | 37 |
| 4.1.2.3 | <i>Pipe 2012</i> | 37 |
| 4.1.2.4 | <i>EPANET 2.0</i> | 38 |
| 4.1.2.5 | <i>WaterCAD</i> | 39 |
| 4.1.2.6 | <i>Aquis Operation</i> | 39 |
| 4.1.3 | Legislativa | 39 |
| 4.2 | Hydraulická analýza a simulace hydraulického chování ve vodárenství | 40 |
| 4.2.1 | Dostupný software | 40 |
| 4.2.1.1 | <i>Autopen</i> | 40 |
| 4.2.1.2 | <i>Sewer +</i> | 41 |
| 4.2.1.3 | <i>Siteflow</i> | 41 |
| 4.2.1.4 | <i>Winplan</i> | 42 |
| 4.2.1.5 | <i>EPANET 2.0</i> | 42 |
| 4.2.1.6 | <i>Pipe 2012</i> | 43 |
| 4.2.1.7 | <i>Watdis</i> | 43 |
| 4.2.1.8 | <i>Mike Urban</i> | 44 |
| 4.2.1.9 | <i>ARTSTM - Hydraulic software design</i> | 44 |
| 4.2.1.10 | <i>HydrauliCAD</i> | 45 |
| 4.2.2 | Legislativa | 46 |
| 4.3 | Projektování vodovodních sítí a kanalizací..... | 47 |
| 4.3.1 | Dostupný software | 47 |
| 4.3.1.1 | <i>Sewer +</i> | 47 |
| 4.3.1.2 | <i>Winplan</i> | 48 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 4.3.1.3 | <i>Autopen</i> | 49 |
| 4.3.1.4 | <i>Siteflow</i> [®] | 49 |
| 4.3.2 | Legislativa | 50 |
| 4.4 | Software na vytváření simulačních modelů | 51 |
| 4.4.1 | Dostupný software | 51 |
| 4.4.1.1 | <i>Flow 3D</i> | 51 |
| 4.4.1.2 | <i>Fluent</i> | 51 |
| 4.4.1.3 | <i>Comsol</i> | 51 |
| 4.4.1.4 | <i>Autodesk simulation CFD</i> | 52 |
| 5 | PODROBNÝ POPIS VYBRANÉHO SOFTWARE | 53 |
| 5.1 | WATPRO..... | 53 |
| 5.1.1 | Úvod k programu | 53 |
| 5.1.2 | Dostupnost a systémové požadavky | 53 |
| 5.1.3 | Možnosti programu WATPRO | 54 |
| 5.1.4 | Výpočet vzorového příkladu | 56 |
| 5.1.5 | Zhodnocení programu | 65 |
| 5.2 | EPANET 2.0..... | 66 |
| 5.2.1 | Úvod k programu | 66 |
| 5.2.2 | Dostupnost a systémové požadavky | 66 |
| 5.2.3 | Možnosti programu | 66 |
| 5.2.4 | Výpočet vzorového příkladu | 70 |
| 5.2.5 | Zhodnocení programu | 73 |
| 5.3 | Watdis..... | 74 |
| 5.3.1 | Úvod k programu | 74 |
| 5.3.2 | Dostupnost a systémové požadavky | 74 |
| 5.3.3 | Možnosti programu | 75 |
| 5.3.4 | Výpočet vzorového příkladu | 78 |
| 5.3.5 | Zhodnocení programu | 82 |
| 5.4 | Srovnání programů Watdis a EPANET 2.0..... | 83 |
| 6 | ZÁVĚR..... | 84 |
| 7 | LITERATURA A POUŽITÉ ZDROJE | 85 |
| 8 | SEZNAM OBRÁZKŮ | 89 |
| 9 | SEZNAM TABULEK | 91 |
| 10 | SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ | 92 |
| 11 | SUMMARY..... | 93 |

1 ÚVOD

Cílem této bakalářské práce je vytvoření přehledu několika simulačních počítačových programů, které lze využít pro vytváření modelových procesů ve vodárenství. V první kapitole jsou vypsány základní pojmy a definice, které se týkají dané problematiky. Další kapitola se už týká seznamu všech vybraných programů, o kterých se tato práce zmiňuje. U každého programu je vypsán stručný popis o jeho původu, dostupnosti a základním zaměření. Také se zde nachází, u většiny programů ukázka pracovní plochy. Celkový výčet všech sedmnácti programů je následující:

- Autopen
- Sewer +
- SiteFlow®
- Winplan
- Epanet 2.0
- WaterCAD
- Aquis Operation
- Pipe 2012
- Watdis
- HydraulCAD
- ARTS™ – Hydraulic software design
- Watpro
- Mike Urban
- Autodesk Simulation CFD
- Comsol
- Flow 3D
- Fluent

Dále je pak práce rozdělena na základní zaměření a schopnosti programů a to na programy zabývající se problematikou kvality vody, hydraulické analýzy, simulací hydraulického chování ve vodárenství, projektování ve vodárenství až po speciální programy na vytváření simulačních modelů. Důraz je kladen na tři vybrané programy. Mezi tyto programy byly vybrány, Watpro, Epanet 2.0. a Watdis. U těchto programů bude poskytnut detailnější popis jejich schopností a ke každému z těchto tří programů je vytvořen vzorový příklad. V závěru této kapitoly budou srovnány typově podobné programy Epanet 2.0 a Watdis.

2 SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ

V začátku této práce jsou nejdříve vysvětleny některé základní pojmy a definice, které jsou důležité pro pochopení fungování základních principů, na kterých jsou založeny softwarové prostředky zabývající se problematikou matematického modelování vodovodních sítí, jakostí vody až po samotné projektování vodovodních sítí a kanalizací. Všechny tyto softwary budou blíže popsány v následujících kapitolách.

2.1 MATEMATICKÉ A FYZIKÁLNÍ MODELOVÁNÍ

Fyzikální modelování je založeno na podobnosti mezi dvěma reálnými systémy, z nichž jeden představuje skutečnost (prototyp) a druhý jeho reprodukováný obraz (model). Jde vesměs o kontinuální, popř. diskrétní zobrazování zkoumaných jevů v prostoru a čase, v našem případě jevů hydrodynamických, obvykle s použitím zmenšených modelů v laboratorních podmínkách.

Matematické modelování je moderním nástrojem pro posouzení a návrh zásahů do systému zásobování vodou. Zpracovaný kalibrovaný matematický model umožňuje posouzení stávajícího systému zásobování vodou v návaznosti na připojení dalších lokalit. Základním podkladem pro kalibraci modelu je měření kapacity vodovodní sítě. Měření je založeno na měření tlaků a průtoků ve vodovodní síti a provádění hydrantových testů pro zvýšení zátěže vodovodní sítě dodatečným odběrem.

Příprava vstupních dat je nutnou podmínkou, která předchází matematickému modelování vodovodních sítí. Každý výpočetní model vyžaduje vstupní data o uzlech, potrubích, vodojemech, čerpadlech a dalších objektech sítě. V současné době je stále více většina dat vodovodní sítě dostupná v digitální podobě. Tato data lze použít pro stavbu matematického modelu vodovodní sítě. [3]

Souhrn dat potřebných pro modelování:

- Geometrie řešené sítě
- Fyzikální parametry (profily, délky, drsnosti)
- Fyzikální parametry objektu (kóty hladiny, plochy akumulčních komor, funkce závislosti výšky hladiny na ploše, charakteristika čerpadel, uzávěry)

2.2 MOŽNÉ TYPY ŘEŠENÝCH ÚLOH

Následující kapitola se zabývá možnými typy úloh, které lze řešit v dostupných programech. Těmito programy se tato práce zabývá v dalších kapitolách. K hlavním schopnostem těchto programů patří zejména hydraulická analýza na potrubí nebo na vodárenských objektech. Jedná se o výpočty týkající se tlakových ztrát, stanovení průtoků, úniků vody, rychlostí či stanovení uzlových odběrů na síti. K těmto programům patří například programy Epanet, Watdis, Mike Urban, HydraulCAD atd. Dalším důležitým typem řešených úloh je modelování kvality vody, při kterých se sledují koncentrace určitých důležitých ukazatelů ve vodě. Mezi programy schopné řešit problematiku kvality vody patří například Mike Urban, Epanet, Pipe 2012 nebo Watpro. Dalšími úlohami, které tyto programy jsou schopny vyřešit, patří i výpočet vodního rázu (ARTS – Hydraulic software design), vykreslování potřebných výkresů (Winplan, Autopen, Sewer +).

2.2.1 Modelování vodního rázu v potrubí

Při návrhu nebo posouzení vodovodní sítě resp. přiváděcího řadu je nezbytnou podmínkou posouzení celého systému na hydraulický ráz. Pokud se prokáže, že v systému dochází, k výskytu hydraulického rázu je nutné provést protirázová opatření. Tato opatření mohou být provedena jednak vhodnou manipulací stávajícího zařízení a to např. pomalejším zavíráním uzavěru, nebo návrhem protirázového zařízení jako např. větrníky, které jsou obvykle osazovány u vodárenských systémů. Při modelování hydraulického rázu je potřeba posoudit časový průběh tlakové výšky H a průtoku Q po celé délce potrubí pod dobu simulace „t“. Tento průběh, obvykle znázorněný podélným profilem potrubí a obálkou maximálních a minimálních hodnot tlakové čáry, podává informaci o tom, zda-li dochází, k překročení limitu pevnosti potrubí, nebo jestli nedochází k nebezpečí podtlaků. Z průběhu tlaku a průtoku lze určit, zda je nutné navrhnout protirázovou ochranu. [5]

2.2.2 Modelování kvality vody v potrubí

Problematika kvality vody se řeší za pomoci programů, ve kterých je hlavním úkolem sledování důležitých koncentrací ve vodě a podle toho poté navrhovat vhodné dávky dezinfekcí nebo jiných chemických přísad, aby voda splňovala požadované parametry. Navržené dávky se použijí na výpočet změn koncentrací sledovaných látek (Cl, TTHM, TOC atd.). Dále se tyto programy využívají na výpočet stárí vody nebo slouží k trasování vodního zdroje. U příkladů těchto úloh jsou většinou požadovány po uživateli hodnoty vody přitékající na objekt nebo protékající danou trasou.

Pozn.: Software, který řeší problematiku kvality vody je podrobněji rozebrán v této práci v jiné kapitole.

2.2.3 Průtokové analýzy

Hydraulickou analýzou průtoků v tlakových, trubních vodovodních sítích se zjišťují základní hydraulické parametry, jednotlivé parametry se měří buď na úseku, nebo v uzlech. Na úsekové části se měří průtoky, rychlosti a tlakové ztráty a v uzlech to jsou hodnoty odběrů a tlaků. Analýzy průtoků se dělí na statickou, kvazi-dynamickou a dynamickou analýzu.

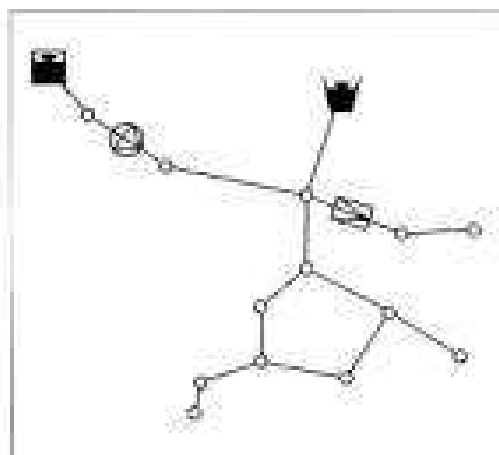
- Statická analýza průtoků se používá pro konkrétní okamžité zatěžovací stavy odběrů na síti, které jsou pro daný časový úsek neměnné. Pro proudění ustálené, což je proudění neměnné v čase. V praxi se tato analýza se používá ve fázi návrhu.
- Kvazi-dynamická analýza se skládá z posloupností statických analýz pro určitý počet časových intervalů. Ke změně zatěžovacích stavů odběrů a dalších fyzikálních parametrů dochází pouze na rozhraní jednotlivých časových intervalů. (převážně pro jeden den, týden nebo hodinu), časové intervaly mají stejnou délku. Stejně jako statická analýza patří kvazi-dynamická analýza mezi ustálené proudění. V praxi se tato analýza používá pro projektování v provozu. Tuto analýzu pro své výpočty využívá program EPANET 2.0.
- Dynamická analýza využívá relativně krátké časové úseky s velmi krátkými intervaly (sekundy) změn průtokových a tlakových poměrů. Tato analýza se využívá například při hydraulické analýze vodního rázu, tedy při neustáleném proudění, což je proudění, které je proměnné v čase. Používá se pro posuzování tlaků na výtlačných řadecích.

2.2.4 Dostupnost dat v digitální podobě

Základní data popisující vodovodní síť se obvykle načítají z externích datových zdrojů, např. systémy GIS, databázové systémy, starší výpočetní modely. Pokud data v digitální podobě nejsou k dispozici, je nutné je začít systematicky pořizovat. Namísto vytváření výpočetní sítě přímo v simulačním modelu je často vhodnější provést digitalizaci dat v nezávislém prostředí (AutoCAD, MicroStation, MapInfo), a teprve pak data převést do simulačního modelu. Získáme tak zároveň kvalitní podklad pro vytvoření informačního systému vodovodní sítě. Je také vhodné provést pořízení základních dat s vyšší podrobností než je zapotřebí pro výpočetní model. Mezi základní data patří uzly a úseky potrubí. Další data, jako např. nádrže a vodojemy, čerpací stanice, uzávěry, regulační prvky lze již vkládat s ohledem na výpočetní schematizaci přímo v simulačním prostředí; počet těchto dat je také řádově několikanásobně menší než počet uzlů a potrubí. [4]

2.2.5 Schématické prvky potrubní sítě, hydraulické objekty

Základní schematizace vodovodní sítě s ohledem na výpočty ustáleného proudění, kvazi-ustáleného proudění a výpočtu kvality vody jsou založeny na rozdělení sítě na uzly a úseky. Mezi úseky patří potrubí, čerpadla a uzávěry; uzly se rozdělují na obyčejné a odběrné uzly, nádrže a vodojemy, viz. obr.2-1. Před vlastním zadáváním vstupních dat v simulačním prostředí je nutné provést tyto kroky:



Obrázek 2-1: Schéma výpočetní sítě [4]

- 1 - Rozdělit všechny prvky vodovodní sítě do uzlů (uzel, nádrž a vodojem) a úseků (potrubí, čerpadlo a uzávěr).
- 2 - Označit všechny uzly unikátním identifikátorem, nejlépe celočíselného typu.
- 3 - Označit všechny úseky unikátním identifikátorem, nejlépe celočíselného typu.
- 4 - Shromáždit tyto parametry:
 - 4.1 - Průměr, délka, součinitel hydraulické drsnosti, součinitel místní ztráty a koeficient odběru pro každé potrubí.
 - 4.2 - Q-H charakteristiku pro každé čerpadlo.
 - 4.3 - Průměr, součinitel místní ztráty a tlakové resp. průtokové regulační parametry pro každý regulační uzávěr.
 - 4.4 - Půdorysné rozměry, minimální a maximální provozní hladiny pro každý vodojem.
 - 4.5 - Operační pravidla pro čerpadla, regulační uzávěry, závislá na čase simulace, úrovni hladiny v kontrolních vodojemech a uzlech.
 - 4.6 - Počáteční hodnoty uzlových odběrů a jejich časové rozdělení v celém rozsahu výpočtu kvazi-ustáleného proudění.
 - 4.7 - Počáteční parametry kvality vody ve všech uzlech a časové změny parametrů kvality vody ve všech zdrojích. [4]

2.2.6 Uzlové odběry

Důležitou skupinu vstupních dat s druhou nejvyšší mírou pracnosti představují hodnoty uzlových odběrů. Ruční zadání konkrétních hodnot je možné jen, pokud řešíme malou úlohu, při větším počtu uzlů je nezbytné provést automatické rozdělení uzlových odběrů na základě celkové potřeby v určité části vodovodní sítě. Automatické rozdělení uzlových odběrů, které podporuje variantní řešení, se provádí obvykle metodou redukovaných délek nebo metodou dvou součinitelů. Součinitelé odběru se odvozují na základě typu zástavby, počtu připojených obyvatel, velikosti fakturované vody a podobně. Koncepčně správné řešení umožňuje napojení na zdroj dat zákaznického informačního systému. [4]

3 PŘEHLED A ZÁKLADNÍ INFORMACE DOSTUPNÝCH PROGRAMECH

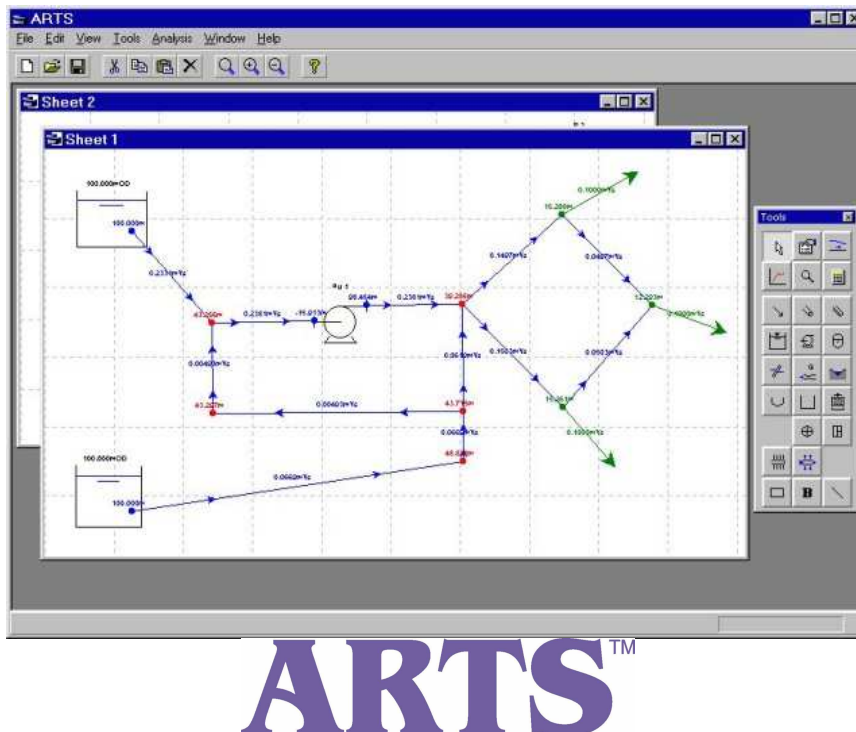
ARTS™ – Hydraulic software design

Program Arts pochází od vývojářů z irské společnosti Aquavarra Research Limited se sídlem v Dublinu. Jedná se o program určený pro:

- hydraulickou analýzu potrubí, otevřených žlabů
- pro návrh vodohospodářských objektů
- provádění analýz vodního rázu
- výpočet pracovních bodů čerpadel

ARTS obsahuje vestavěný textový editor, který umožňuje editaci textových výstupů před tiskem. Program je kompatibilní i s nejnovějšími operačními systémy (Windows XP až Windows 8) a lze jej pořídit na hlavních stránkách společnosti, kde plnou verzi programu lze získat pouze objednávkou přes e-mail. Demoverze na hlavních stránkách je ve formě videa, ve kterém se uživatelé představují vlastnosti programu.

Více informací na stránce: <http://www.aquavarra.ie/arts/>



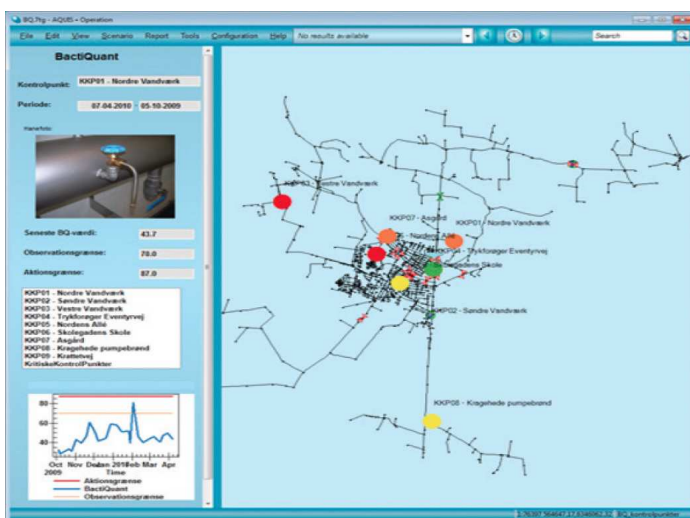
Obrázek 3-1: Ukázka pracovní plochy a logo programu ARTS™ [37]

Aquis Operation

Aquis operation je původně od tvůrců 7-Technologies nyní patří německé společnosti Schneider Electric. Aquis je hydraulický modelovací nástroj, který simuluje chování směru průtoku, tlaku a tepelných podmínek v distribuční síti. Hlavním úkolem je zlepšení kvality vody, bezpečnosti provozu a zlepšení hydraulických vlastností sítě. Cena plné verze programu Aquis Operation se dojednává přes jednotlivé pobočky firmy Schneider Electric, avšak demoverze lze stáhnout přímo z internetové stránky firmy.

Program Aquis operation se dělí hned na několik modulů, jako jsou:

- AQUIS - jako inženýrský nástroj pro vodohospodáře
- AQUIS - Hydraulic
- AQUIS - Rázy
- AQUIS - Model manažer
- AQUIS - Manažer odběrů
- AQUIS - Reálný čas
- AQUIS - Optimalizace tlaku
- AQUIS - Kalibrace a lokalizace úniků
- AQUIS - Detekce úniků v rozvodném systému
- AQUIS - Kvalita vody - tento modul slouží ke stanovení stáří vody a koncentrací chemikálií obsažených ve vodě a umožňuje tak stopovat vodu v každém místě a stanovit v reálném čase zda je voda opět vhodná k pití a to i v složitých místech vodovodní sítě. [7]

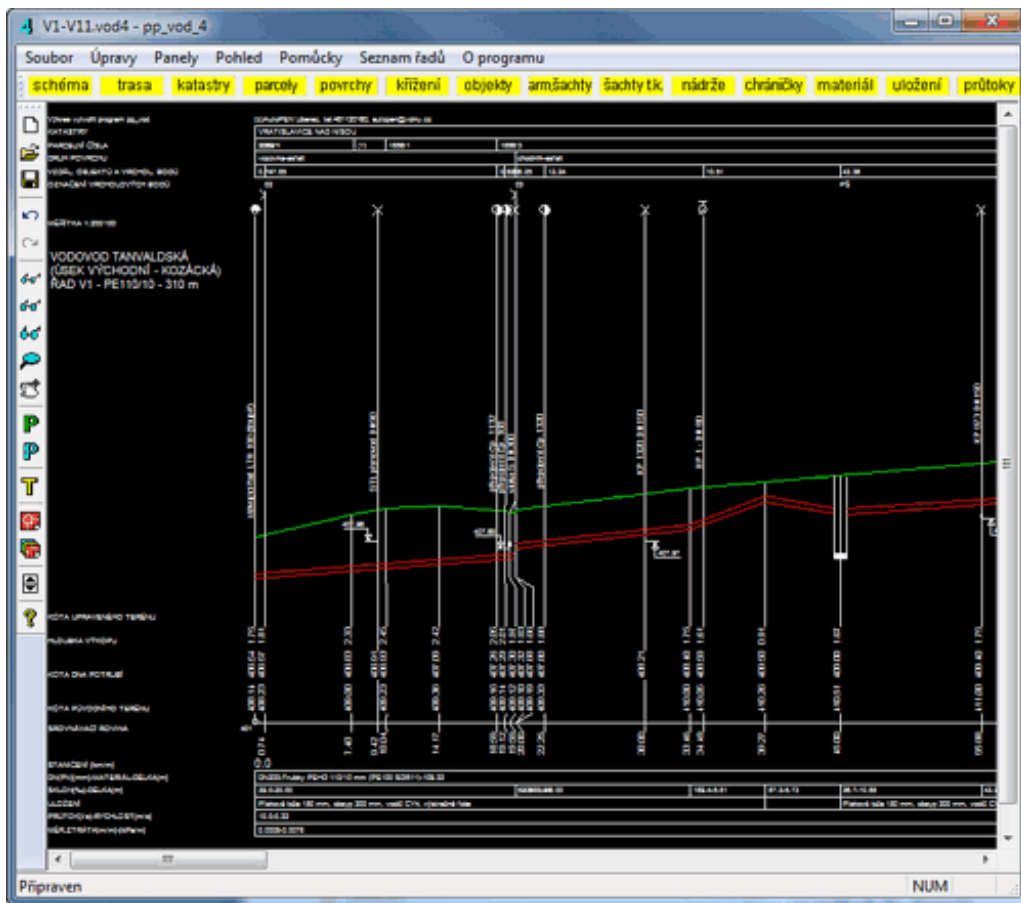


Obrázek 3-2: Ukázka pracovní plochy a logo programu Aquis Operation [7]

Autopen

Z dílny českého autora Ing. Lubomíra Bucka z Liberce byl vytvořen systém programů AutoPEN, který je určen pro projektanty zabývající se navrhováním kanalizací, vodovodů, plynovodů, komunikací nebo i vodních toků. Jedná se o skupinu programů, která jsou kompatibilní s nejnovějšími operačními systémy Windows Vista, Windows 7 i Windows 8. Jednotlivé programy lze z hlavních stránek získat pouze jako demoverzi. Plnou verzi programů lze zakoupit také na hlavních stránkách, přičemž se zde dá uplatnit řada slev nebo lze vyčkávat na slevové akce. Cena za standardní nepoužívanější programy se u jednotlivých softwarů pohybuje kolem 3 000 až 10 000 Kč.

Více informací na stránce: <http://www.autopen.net/>.

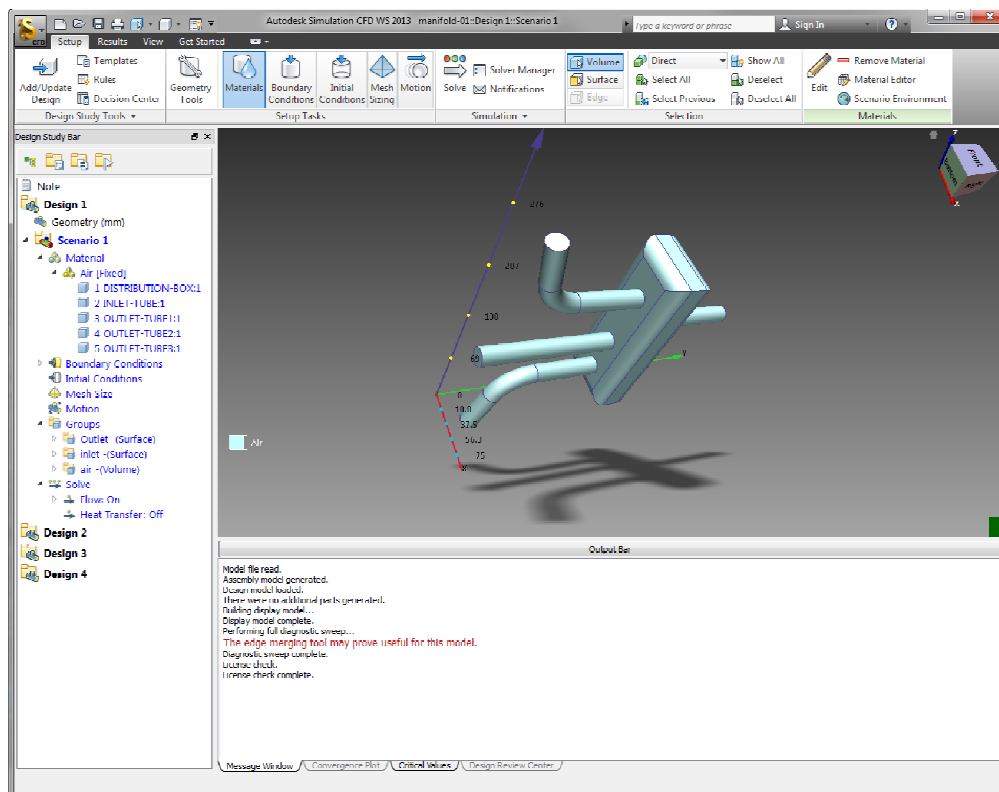


Obrázek 3-3: Ukázka pracovní plochy a logo programu Autopen [38]

Autodesk simulation CFD

Autodesk Simulation CFD byl vyvinut v Charlottesville, Virginie v USA pod záštitou společnosti Autodesk. Tento program lze pro studijní účely získat zdarma, ale jinak je potřeba napsat přímo e-mail společnosti Autodesk, aby zaslala ceník.

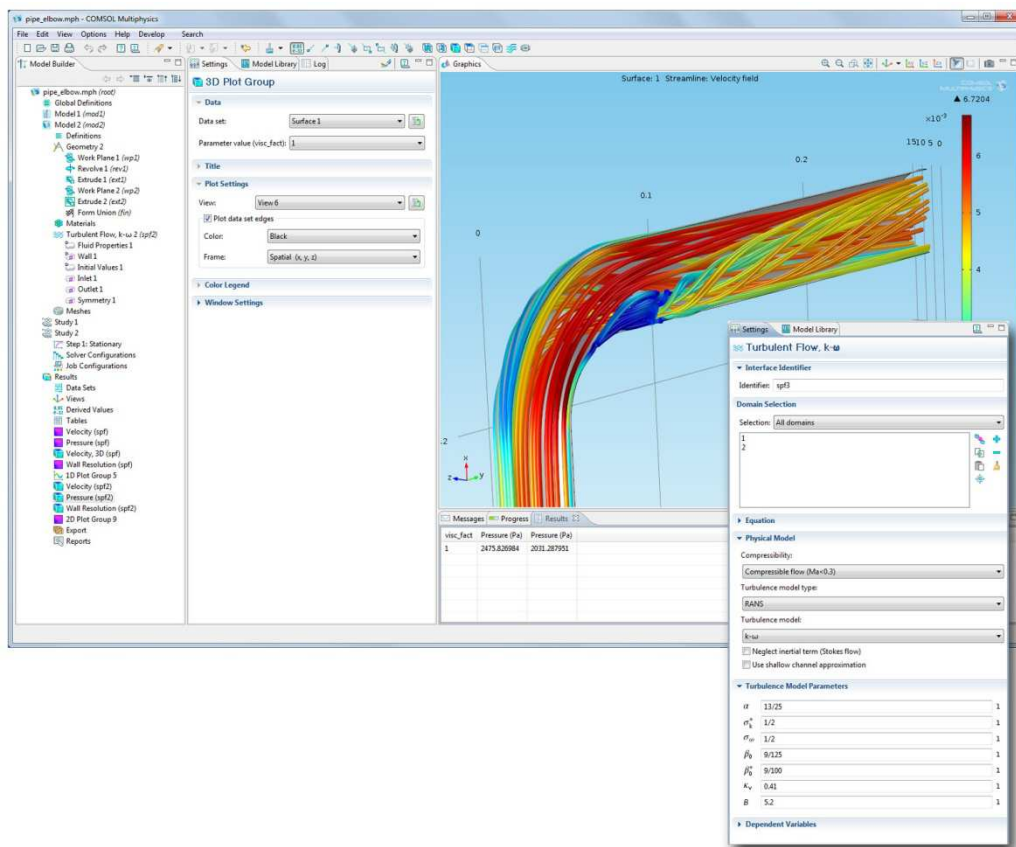
Více informací na stránce: <http://www.autodesk.com/products/autodesk-simulation-family>



Obrázek 3-4: Ukázka pracovní plochy a logo programu Autodesk simulation CFD [39]

Comsol

Comsol je program od švédské stejnojmenné společnosti ze Stockholmu. Tento program je určen především vývojářům, výzkumným a vědeckým pracovníkům. Program lze využít například při detailním zkoumání proudění vody v potrubí. Hlavní jeho výhodou je možnost kombinace několika fyzikálních rozhraní. Více informací na stránce <http://www.comsol.com/>.

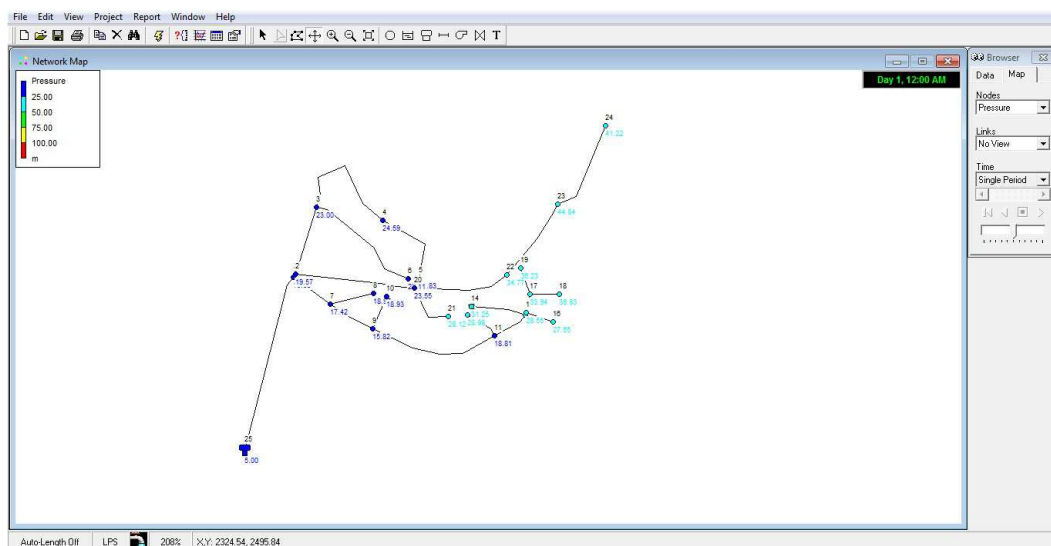


Obrázek 3-5: Ukázka pracovní plochy a logo programu Comsol [40]

Epanet 2.0

Epanet byl vytvořen vládní agenturou U.S. EPA - Risk Reduction Engineering Laboratory ze Spojených států amerických. Epanet je založen na těchto výpočetních metodách Hybrid Loop-Node, Gradient Method, Minimum Degree Ordering, Lower Triangular Compact Storage. Agentura EPA vytvořila tento software v roce 2000, a od tohoto roku program Epanet stále patří mezi nejlepší a nejpoužívanější programy na trhu a svoji nadčasovost dosvědčuje i fakt, že většina komerčních vodních softwarů využívá základy výpočetního modelu Epanet, a to prostřednictvím „Programmer toolkit“ (Dynamického propojení knihoven), těchto výhod využívá řada programů mezi nejznámější, patří například H₂O Map Water, H₂O Net, InfoWater, Mike Urban, WaterCAD, WatDis a mnoho dalších. Epanet se v dnešní době hojně využívá i v praxi a ve školství, jako vysokoškolská pomůcka na specializovaných školách. Skutečnost, že je Epanet tak populární potvrzuje fakt, že plná verze tohoto softwaru je zcela zdarma a zároveň Epanet je možno spustit na všech operačních systémech Windows. Sám o sobě však Epanet nezvládá dokonale všechny výpočetní analýzy, a proto je možnost propojit program s jinými. Například lze narýsovat vodovodní soustavu v programu AutoCAD či WaterCAD a následně provést hydraulickou analýzu či posouzení jakosti vody v Epanet atd. [49]

Více informací na stránce <http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/dw/epanet.html>.

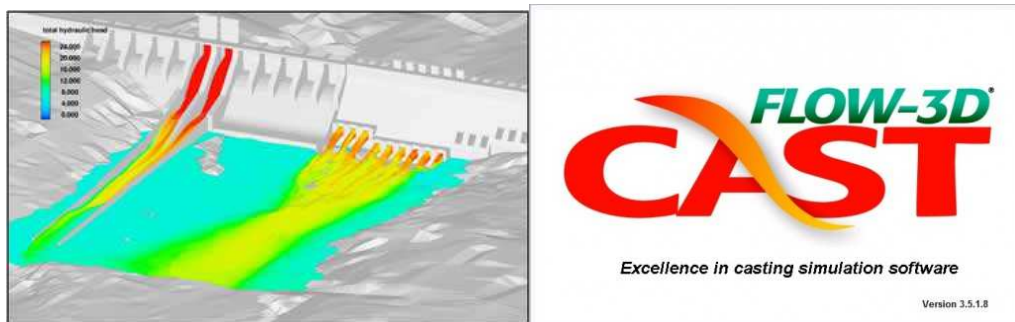


Obrázek 3-6: Ukázka pracovní plochy a logo programu Epanet 2.0

Flow 3D

Flow 3D je program od tvůrců Flow Science z laboratoří v americkém Los Alamos v Novém Mexiku. Tento program patří mezi CFD programy (computational fluid dynamics) tj. programy zabývající se výpočtem dynamiky kapalin. Plnou verzi tohoto programu si lze opatřit přes hlavní stránku Flow Science.

Více informací na stránce <http://www.flow3d.com>.



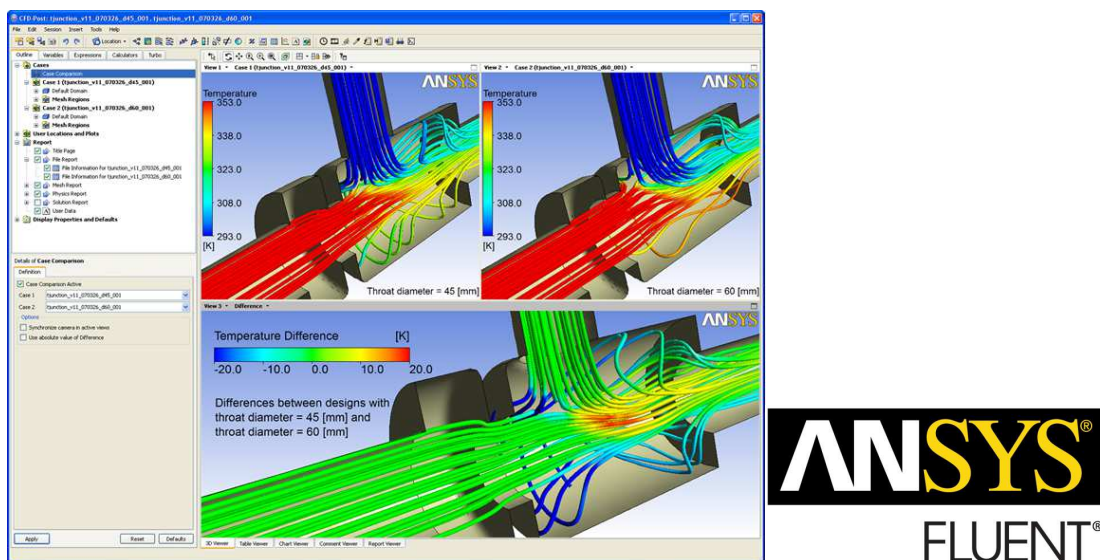
Obrázek 3-7: Ukázka práce a logo programu Flow 3D [41]

Fluent

Program Fluent pochází od amerických tvůrců ze společnosti ANSYS z Canonsburg v Pensylvánii. Tento software patří mezi CFD (Computational fluid dynamics) tj. program zabývající se dynamikou kapalin.

Více informací na stránce:

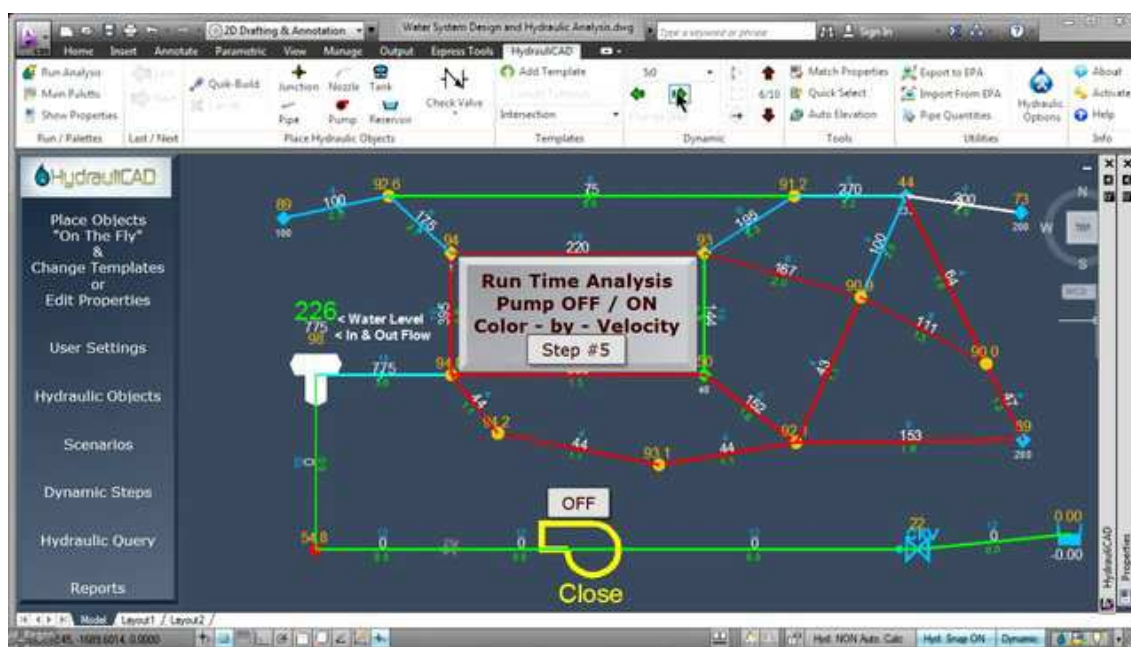
<http://www.ansys.com/Products/Simulation+Technology/Fluid+Dynamics/Fluid+Dynamics+Products/ANSYS+Fluent>.



Obrázek 3-8: Ukázka pracovní plochy a logo programu Fluent [42]

HydrauliCAD

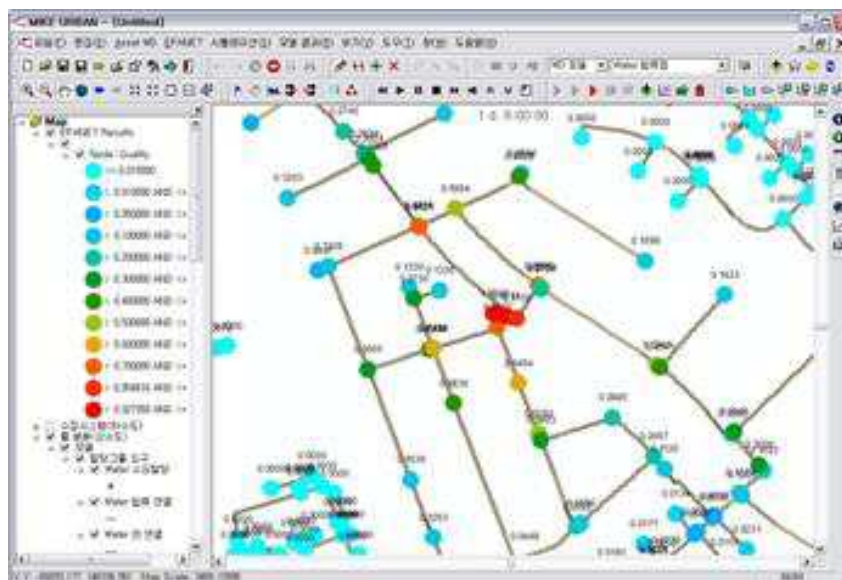
Tvůrci programu HydrauliCAD pocházejí z Vancouveru BC v Kanadě a z Bellinghamu WA v USA. Jedná se o nadstavbu AutoCADu Civil 3D či AutoCADu Map 3D a slouží k tvorbě statických a kvazi-dynamických hydraulických analýz. HydrauliCAD je založen na výpočtovém jádru programu EPANET. Výpočtovým výstupem jsou například průtoky, rychlosti a tlakové ztráty na potrubí. Program je kompatibilní se všemi operačními systémy až po ty nejnovější (Windows XP až Windows 8). Cena plné verze programu HydrauliCAD se odvíjí od požadavků uživatele, základní verze pro maximální počet 1 000 navržených potrubí stojí 3 000\$ (v přepočtu cca 60 000 Kč). Verze bez omezení stojí 6 600\$ (v přepočtu cca 130 000 Kč). HydrauliCAD má velkou výhodu, že využívá výkresového prostředí AutoCADu. Více informací na stránce <http://hydraulicad.com/>.



Obrázek 3-9: Ukázka pracovní plochy a logo programu HydrauliCAD [43]

Mike Urban

Program Mike Urban pochází od nevýdělečné organizace DHI se sídlem v Dánsku. Mike URBAN jako mnoho jiných programů ve vodárenství vychází z EPANET engine a slouží k obdobným typům příkladů (hydraulická analýza, posouzení kvality vody atd.) a lze ho spustit i v nových operačních systémech Windows. Cena tohoto softwaru pro jednoho uživatele je ovlivněna omezením v počtu modulů a počtu potrubí. Například cena za licenci s omezením na 50 navržených potrubí se všemi dostupnými moduly stojí 3 750 € (v přepočtu cca 96 900Kč), a cena za licenci plné verze s možností až 5 000 navržených potrubí se všemi moduly je 17 500 € (v přepočtu cca 452 200Kč), všechny tyto ceny jsou bez DPH. Je možné však uplatnit vysokoškolské, množstevní slevy. Licenci je také možné získat přes internetové stránky organizace DHI. Více informací na stránce <http://www.mike-by-dhi.com/>



Obrázek 3-10: Ukázka pracovní plochy a logo programu Mike Urban [44]

Pipe 2012

Program Pipe byl vyvinut ve Spojených státech amerických na Univerzitě Kentucky v městě Lexington ve státě Kentucky, dvojicí profesorů Dr. Don J. Wood a Dr. Srin Lingireddy, a pobočky pro distribuci tohoto softwaru se nachází po celém světě. Program Pipe 2012 je určen pro výpočet ustáleného a kvazi-ustáleného proudění a také pro výpočet kvality vody na velikostně neomezených sítích. Program je založen na výpočetních metodách Newton-Raphson, Node-Loop a Modified Routines.

Pipe 2012 v sobě obsahuje několik integrovaných softwarů, které jsou zaměřené na určitou oblast. Mezi tyto softwary patří například:

- Kypipe - slouží pro oblast výpočtů hydraulických analýz a modelů kvalit vody
- Surge, TranSurge - slouží k řešení problematiky vodního rázu
- Gas - Nejčastěji se používá pro distribuci zemního nebo skládkového plynu, přičemž zahrnuje i kolísání teplot.
- SWMM - je to dynamický srážko-odtokový simulační model pro jednu událost nebo pro dlouhodobou simulaci odtoku, převážně z městských oblastí. Výstup obsahuje kvantitu a kvalitu průtoku během simulačního období.

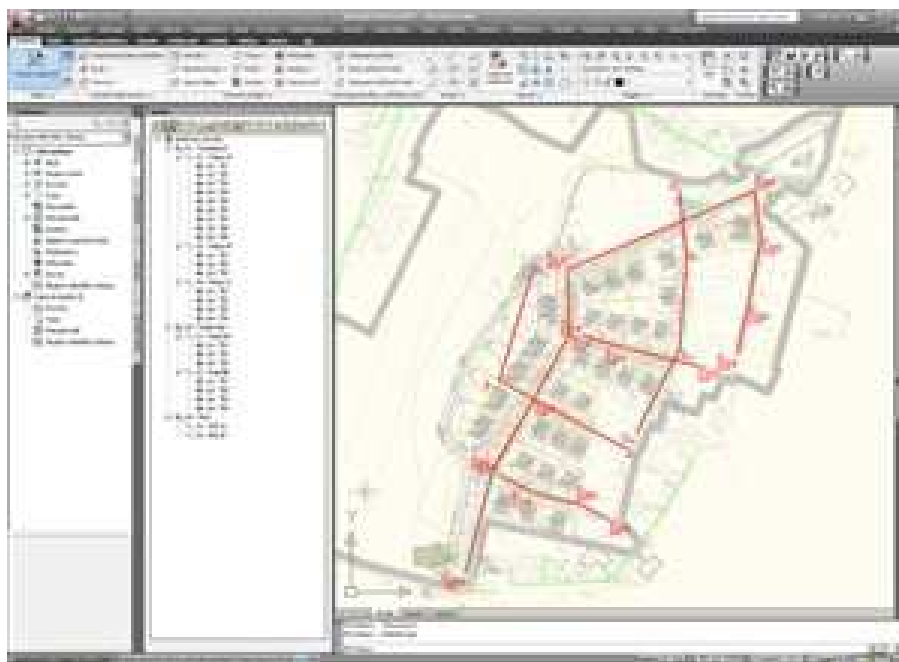
Plná verze programu KyPipe 2012 se pohybuje od 895\$ USD výše (v přepočtu cca 18 000 Kč) záleží na obsahu objednávky, technická podpora je zdarma. I zde je možnost uplatnění slev. K dispozici je i demoverze tohoto programu na hlavních stránkách, kde je potřeba se akorát registrovat. Demoverze programu KyPipe 2012 má omezení v počtu trubek na 50, průměru potrubí na max. 150mm, délku potrubí 300m a možnost ukládání a analyzování sítě o počtu max. 15 potrubí. Obě verze jsou kompatibilní se všemi operačními systémy od Windows XP až po ty novější. Více informací na stránce <http://kypipe.com>.



Obrázek 3-11: Ukázka pracovní plochy a logo programu Pipe 2012 [45]

Sewer +

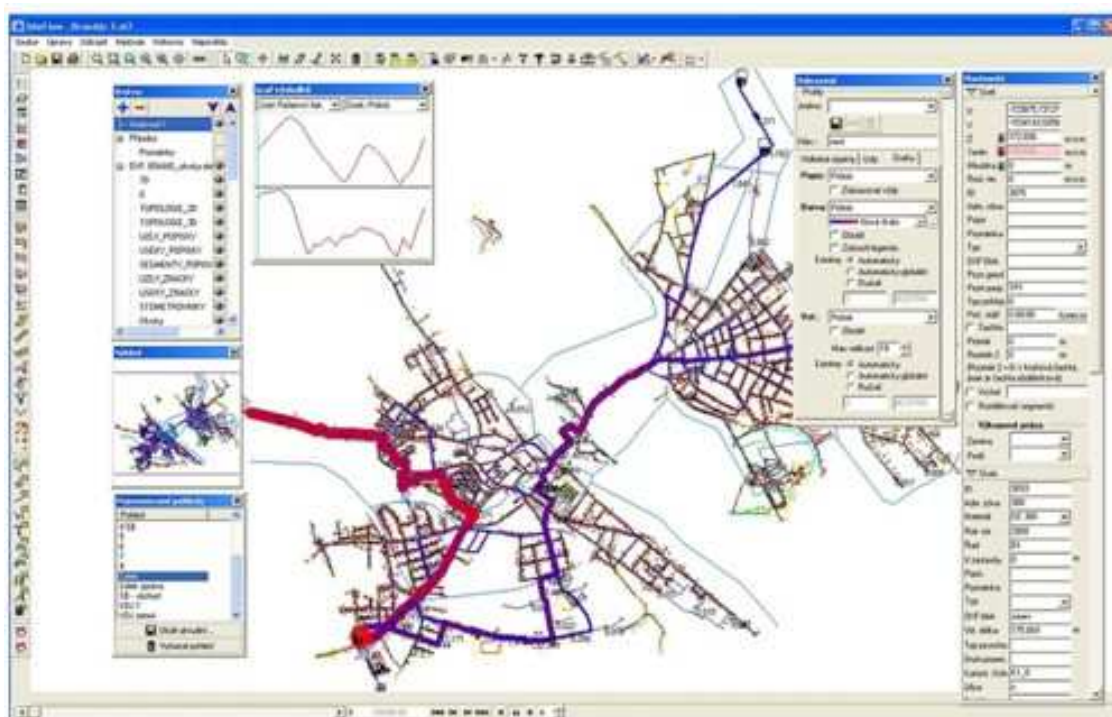
Sewer+ pochází od slovinské společnosti SL-King. Jedná se o nadstavbový program pro CAD systémy, jako jsou např. AutoCAD Map 3D nebo AutoCAD Civil 3D. Program je s českou lokalizací a je podporován nejnovějšími operačními systémy, jako jsou Windows XP, Vista a Windows 7. Slouží pro návrh venkovních potrubních sítí, jako jsou kanalizace, vodovody, plynovody, elektrické vedení. Program funguje přímo v CADu, není třeba žádný export dat nebo jiný spuštěný program. Více informací na stránce <http://www.autodeskclub.cz/sewer>.



Obrázek 3-12: Ukázka pracovní plochy a logo programu Sewer + [46]

Siteflow[®]

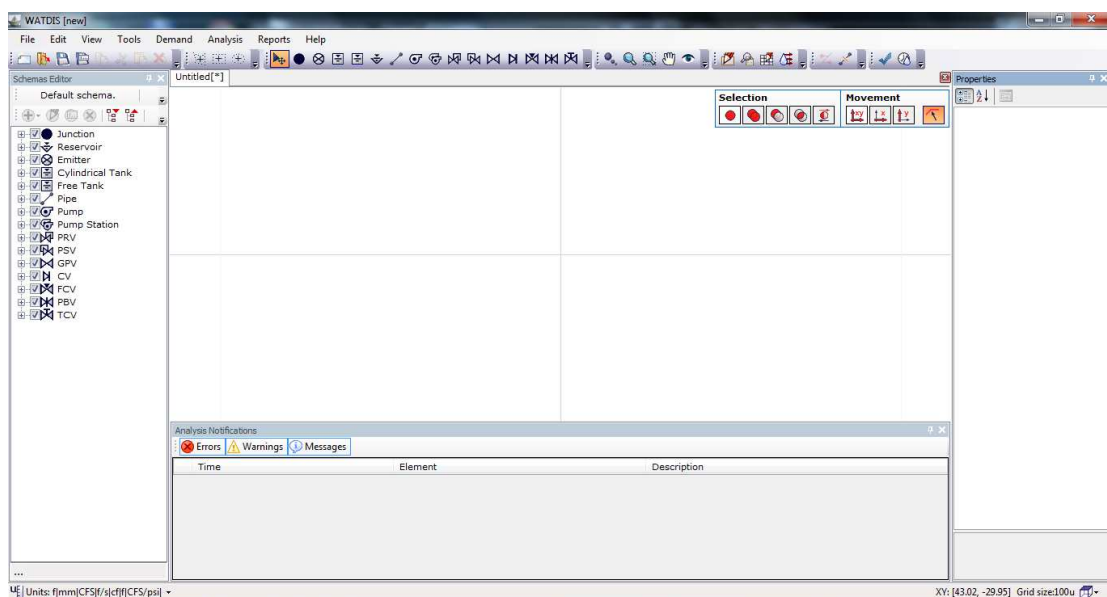
Siteflow je systém, který pochází od českých tvůrců ze společnosti Aquion s.r.o. Jedná se o systém programů, který se skládá z několika částí. Jedna z částí je určená pro projektování a pro simulační modelování. Na hlavních stránkách firmy lze sehnat demoverzi, avšak o plnou verzi je potřeba si napsat přímo společnosti Aquion s.r.o. Licence na tento program lze zakoupit v šesti různých verzích, které se liší počtem výpočtových uzlů v rozsahu (10 – 100 – 300 – 1 000 – 3 000 až neomezené množství uzlů). Siteflow je kompatibilní s nejnovějšími operačními systémy od Windows XP počínaje až po nejnovější Windows 7. Více informací na stránce <http://www.aquion.cz/index.php/software/siteflow>



Obrázek 3-13: Ukázka pracovní plochy a logo programu SiteFlow[®] [47]

Watdis

Watdis je program, který byl vytvořen kolumbijskou společností Transparent Blue S.A.S. se sídlem v Bogotě. Jazyková lokalizace programu je provedena ve dvou jazycích anglickém a španělském. Jedná se o bezplatný software, který byl vyvinut na základech programu Epanet i na jeho výpočtových modulech. Jde vesměs o stejný program, avšak s některými inovacemi pro lepší práci a orientaci v programu. Watdis slouží pro hydraulické modelování vodovodních sítí. Na hlavních stránkách lze stáhnout současnou verzi programu. Podle autorů se jedná ještě o neukončenou verzi programu, která bude ještě aktualizována. Více o tomto programu je napsáno v kapitole 5.3. Hlavní stránku programu lze nalézt na webu <http://www.watdis.com/en/>.

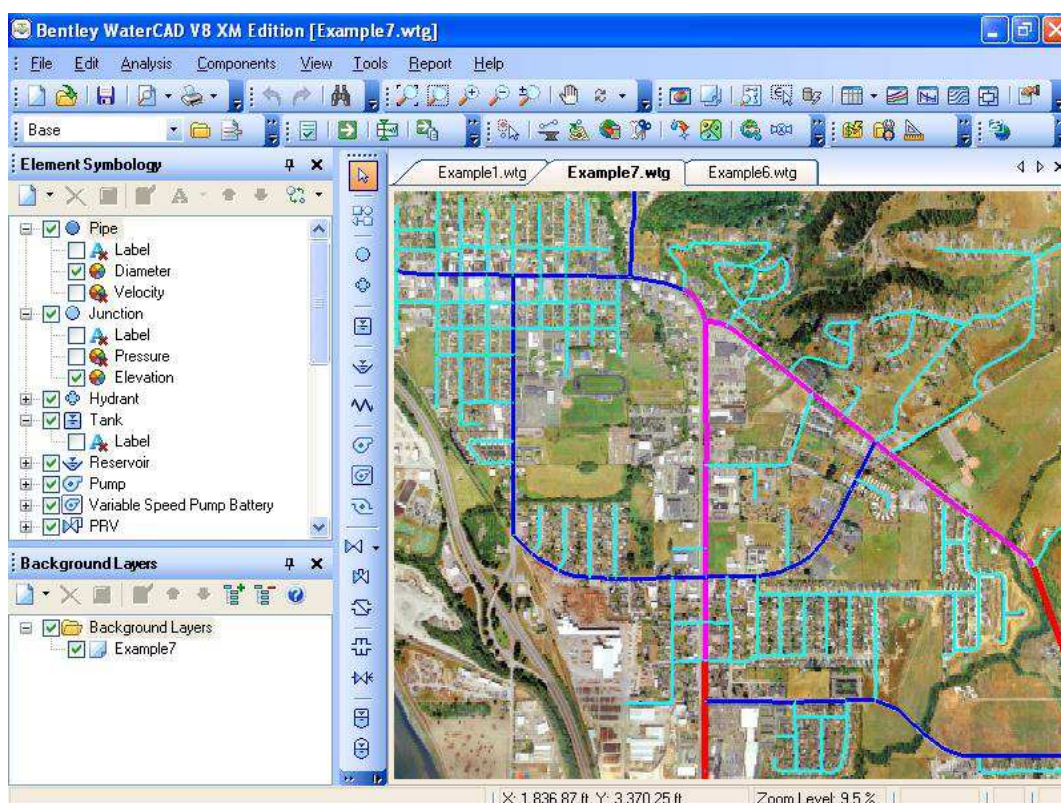


www.WatDis.com

Obrázek 3-14: Ukázka pracovní plochy a logo programu Watdis

Watercad

WaterCAD byl vytvořen americkou firmou Heastad Methods Inc. Pod vedením Johna R. Haestada. Slouží k výpočtu jakosti vody a k výpočtu ustáleného a kvazi-ustáleného proudění. Cena plné verze programu WaterCAD je ovlivněna množstvím možného navrženého potrubí, které jsou v rozmezí standardně od 10 až 1000 navržených potrubí, které stojí 195\$ až 4 995\$ USD (v přepočtu cca 3 900 až 100 000). Lze si pořídit i licenci pro neomezený počet potrubí u této varianty už je potřeba si vyžádat cenu přes e-mail. Více informací na stránce <http://www.bentley.com/en-US/Products/WaterCAD/>.

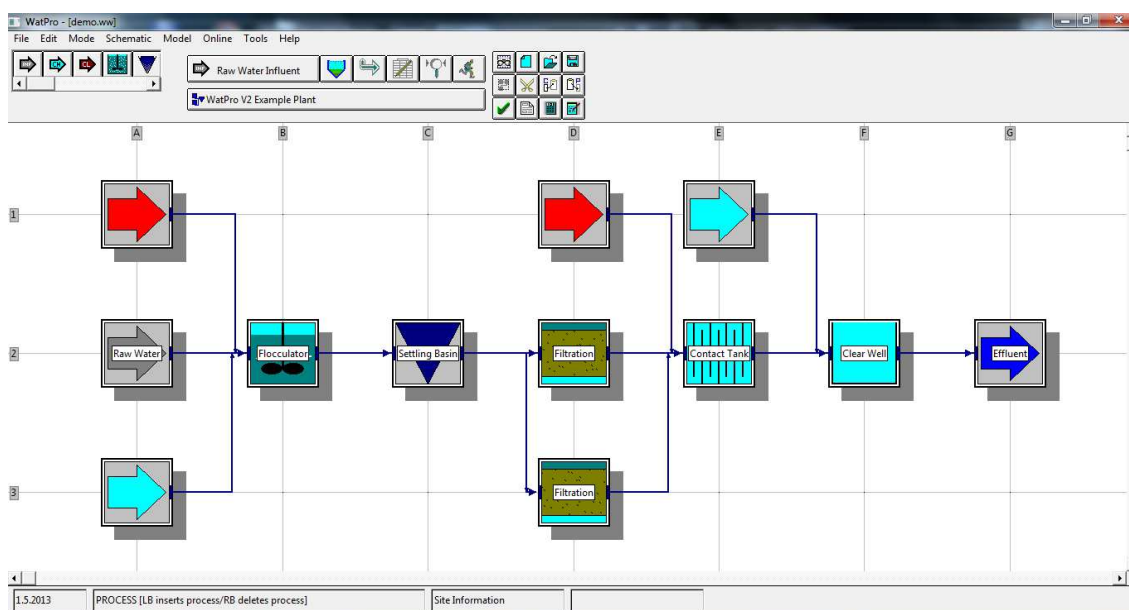


Obrázek 3-15: Ukázka pracovní plochy a logo programu WaterCAD [48]

WATPRO

Program WATPRO pochází od kanadské společnosti Hydromantis, která má mimochodem podíl na vzniku programů z různých odvětví při práci s vodou. Jsou to CapdetWorks, Toxchem nebo GPS-X, které se zabývají mimo jiné odpadní vodou nebo dopravou plyných i chemických látek. Tento program patří mezi přední simulátory úpravy vody. V tomto programu je možnost posouzení kvality vody na základě navržených objektů úpravy vody a dávkovaných chemikálií při čištění.

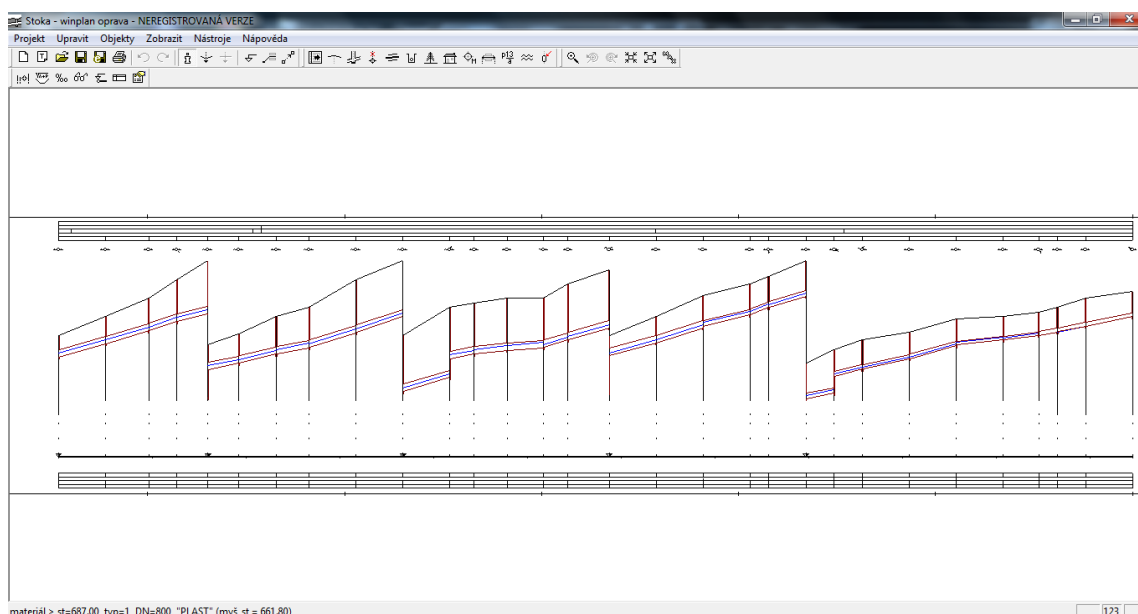
Více informací v kapitole 5.1, nebo na stránce <http://www.hydromantis.com/WatPro.html>.



Obrázek 3-16: Ukázka pracovní plochy a logo programu Watpro

Winplan

Dalším programem v pořadí v této kapitole je Winplan, který pochází od českých tvůrců ze společnosti Sweco Hydroprojekt a.s. Winplan lze spustit přes operační systém Windows. Osobně jsem ho zkoušel na Windows XP až po nejnovější Windows 7 a vše pracovalo v pořádku. Jedná se o velmi povedený systém na projektování a posuzování kanalizací, vodovodů a jiných vodohospodářských konstrukcí. Winplan se skládá z několika modulů, které fungují buď jako samostatné programy nebo je lze navzájem propojit. Cena za jeden modul se pohybuje v řádech tisíců až desetitisíců korun (4 000 až 40 000). Winplan i se základními moduly lze opatřit ve formě demoverzí, u kterých nelze například výsledný výstup vyexportovat do CAD souborů (.dxf) nebo výsledný výstup nelze vytisknout. Více informací na stránce <http://www.winplan.cz/>.



Obrázek 3-17: Ukázka pracovní plochy a logo programu Winplan

4 PROGRAMY ŘEŠÍCÍ PROBLEMATIKU MATEMATICKÉHO MODELOVÁNÍ VE VODÁRENSTVÍ

V této kapitole jsou rozebrány programy pro hydraulickou analýzu ve vodárenství, ale i programy zabývající se například problematikou jakosti vody, dynamikou kapalin či dokonce samotným vykreslováním vodovodních sítí. Celkem bude v následujících řádcích popsáno sedmáct softwarových prostředků. V následující kapitole pak u tří vybraných programů budou přiblíženy a detailněji popsány jejich vlastnosti a bude u nich i vypočítán vzorový příklad.

4.1 PROBLEMATIKA JAKOSTI VODY

V této části jsou blíže přiblíženy programy, které slouží k analýze kvality zkoumané vody a slouží například k sestavení technologických objektů a zařízení na úpravně vody a následné vyhodnocení funkčnosti navržené soustavy.

4.1.1 Procesy úpravy

Pitná voda, je voda, která je zdravotně nezávadná a zároveň nesmí mít příznivé podmínky pro šíření různých mikroorganismů nebo parazitů a hlavně musí splňovat limity dané zákonem. Za tímto účelem se zavedly pojmy pro rozdělení typů limitů, jako jsou závazné neboli mezní hodnoty, nejvyšší mezní hodnoty a doporučené hodnoty. Překročením mezní hodnoty ztrácí voda jakost, ale nezpůsobuje akutní zdravotní problémy, avšak je nutné přijmout opatření, aby se tato hodnota snížila. Voda překračující nejvyšší mezní hodnotu už nemůže být považována jako voda pitná (např. je-li obsah dusičnanů 50 mg/l). Posledním typem jsou směrné neboli doporučené hodnoty, což jsou nezávazné hodnoty, které se stanoví z minimálních nežádoucích koncentrací sledované látky. (např. hořčík Mg - 20 až 30 mg/l; Ca - vápník 40 až 80 mg/l). Pitnou vodu určenou k pití lze kromě vody z kohoutku nalézt i v přírodě například u podzemních vod, kterou lze často použít i bez minerální úpravy. Ale většinou je snahou u surové vody z vodních zdrojů zajišťovat jakost pomocí technologických stupňů, protože ne vždy splňuje voda požadované vlastnosti, které se u pitné vody požadují. Mezi tyto technologické stupně patří fyzikální, chemické nebo biologické procesy, které se využívají na úpravách vody. Zde záleží na kvalitě vody a na požadovaných limitech výstupní vody a až poté se navrhuje jednotlivé technologie úpravy vody a separační stupně úpravy vody, jako jsou desinfekce, sedimentace, filtrace, nebo i ozonizace. V dnešní době se již na trhu dají sehnat softwarové prostředky, které nám mohou ulehčit práci s problematikou návrhu technologií a úpraven vody. Jak již bylo uvedeno výše, než-li je voda označena za pitnou, je potřeba zjistit koncentrace sledovaných ukazatelů ve vodě a prokázat tak její nezávadnost. U pitných vod se sledují fyzikální, chemické, biologické

a mikrobiologické vlastnosti. K fyzikálním vlastnostem patří teplota, zákal ($ZF_{t,n}$), barva a organoleptické vlastnosti, jako jsou pach a chuť. Mezi chemické vlastnosti vod, které se sledují, jsou pH hodnoty, $CHSK_{Mn}$, tvrdost vody, vodivost vody a v neposlední řadě i rozpuštěné látky (Fe, Mn). U biologických a mikrobiologických vlastností se sledují obsahy bakterií nebo počty bakterií tvořící kolonii. Všechny tyto ukazatele se musí pravidelně kontrolovat a to v rozsahu, který uvádí vyhláška č.252/2004 Sb.

Tabulka 4-1: Ukázka sledovaných ukazatelů [1], [2]

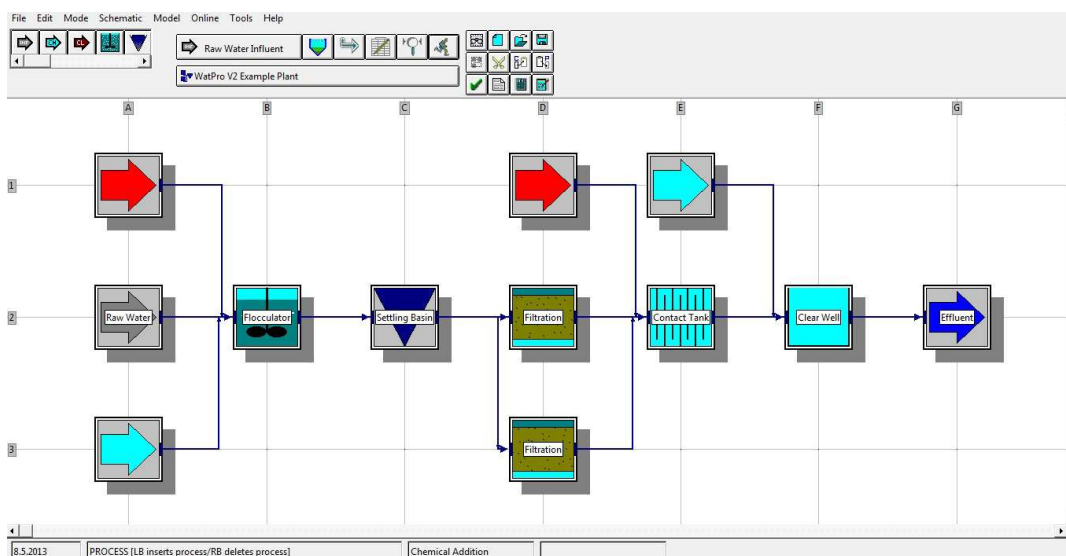
| Ukazatel | Popis | Ozn. | Limit | Jedn. |
|--|--|-------------|---------------|--------------|
| Chemická spotřeba kyslíku manganistanem | Chemická spotřeba kyslíku podává především informace o koncentracích organických látek ve vodě. Vyšší hodnota tohoto ukazatele má špatný vliv na desinfekci. | $CHSK_{Mn}$ | 3 (MH) | mg/l |
| Mangan | Mangan se ve vodách často vyskytuje společně s železem. Překročením mezní hodnoty má za následek změnu organoleptických vlastností | Mn | 0,05 (NMH) | mg/l |
| Železo | Železo se často vyskytuje, společně s manganem a mývá za následek zbarvení prádla. Železo se běžně ve vodě vyskytuje, ale vyšší obsah železa ve vodě je typický svou okrovou barvou. | Fe | 0,2 (MH) | mg/l |
| pH | Voda s vyšší hodnotou pH se řadí mezi zásadité a mývá za následek snížení účinnosti desinfekcí. Naopak je-li pH vody nízké, řadí se tato voda mezi kyselá a může ničit materiál potrubí. Neutrální pH nastává při hodnotě 7. | pH | 6,5 až 9,5 | - |
| Teplota | Je-li teplota vody více než 15°C již není osvěžující. Optimální hodnota je 8-12°C. U podzemních vod je teplota v rozmezí 5-13°C. | T | 8 až 12 | °C |
| Zákal | Zákal vody způsobují organické, anorganické a jemně suspendované částice. Stanovení se provádí srovnáním se vzorkem vody s roztokem (SiO_2). Překročení mezní hodnoty nezpůsobuje zdravotní potíže. | $ZF_{t,n}$ | 5 | mg/l SiO_2 |
| Barva | Pitná voda má být bezbarvá, zbarvení je většinou způsobeno látkami organického původu. Stanovení barvy se provádí srovnáním s platino-kobaltovou stupnicí. Překročením mezní hodnoty se nezpůsobí zdravotní potíže. | - | 20 (MH) | mg/l Pt |
| Dusičnany | Dusičnany se běžně vyskytují ve vodě v nízkých koncentracích a to především díky odpadním vodám a hnojivům. Překročení mezní hodnoty nese zdravotní riziko | NO_3 | 50 (NMH) | mg/l |
| Dusitany | Používají se například jako konzervační látky v potravinářství a mají za následek zdravotní potíže, zejména u kojenců. | NO_2 | 0,5 (NMH) | mg/l |
| Vápník a hořčík | Tvrdost vody je charakterizována především přítomností iontů vápníku a hořčíku. Avšak vápník je důležitý zejména pro dobrý růst organismů a také uplatňuje své výhody při praní prádla, kde zvyšuje účinnost. | Ca+Mg | 2 až 3,5 (DH) | mmol/l |
| Koliformní bakterie | Jsou to bakterie, které by se v pitné vodě vůbec neměly vyskytovat. Pochází z trávicího traktu organismů, ale i z tlejících rostlin. | - | 0 (NMH) | KTJ/100 ml |
| Celkový organický uhlík | Celkový organický uhlík je množství organických látek ve vodě využitelných pro stanovení kvality vody a sledování emisí vypouštěných do vod. | TOC | 5 (MH) | mg/l |

4.1.2 Dostupný software

Softwarových prostředků, které jsou určeny pro modelování kvality vody, dávkování desinfekcí, stanovování stáří vody atd. je hned několik. Modelování kvality vody se například používá k předpovědi kvality vody z hlediska krátkých nebo dlouhých časových intervalů. Další možností využití je zobrazení různých stavů modelů vody za různých vstupních vnějších podmínek (teplota, průtok). Z toho pak vyplývá i nalezení optimálního řešení navrhovaného modelu. Většinou se jedná o komplexní programy, které se nezabývají pouze problematikou kvality vody, ale zároveň slouží k hydraulické analýze potrubí či práci s čerpadly nebo vodojemy. Avšak není tomu tak u všech programů příkladem je program WATPRO. Nyní je krátce přiblíženo několik těchto programů.

4.1.2.1 WATPRO

Mezi hlavní přednosti tohoto programu patří převážně možnost návrhu vlastní úpravy vody. Například je zde možnost identifikovat na každém navrženém objektu v systému vedlejší produkty dezinfekce (DBPs) a jiné ukazatelé. Dále je možné za pomoci systému SCADA propojit systém s již existující úpravnou a sledovat tak v reálném čase hodnoty sledovaných ukazatelů a podle potřeby poté například měnit provozní potřeby, a jiné výhody, které budou blíže popsány v kapitole 5.1. WATPRO je v celku velmi přehledný a umožňuje tak rychle se s tímto programem seznámit a naučit pracovat. Tento program si tak proráží cestu nejen na pracovní trh, ale i do škol. (Jako učební pomůcku WATPRO již využívají univerzity v Kanadě a Anglii). [25]



Obrázek 4-1: Návrh úpravy vody

4.1.2.2 Mike Urban

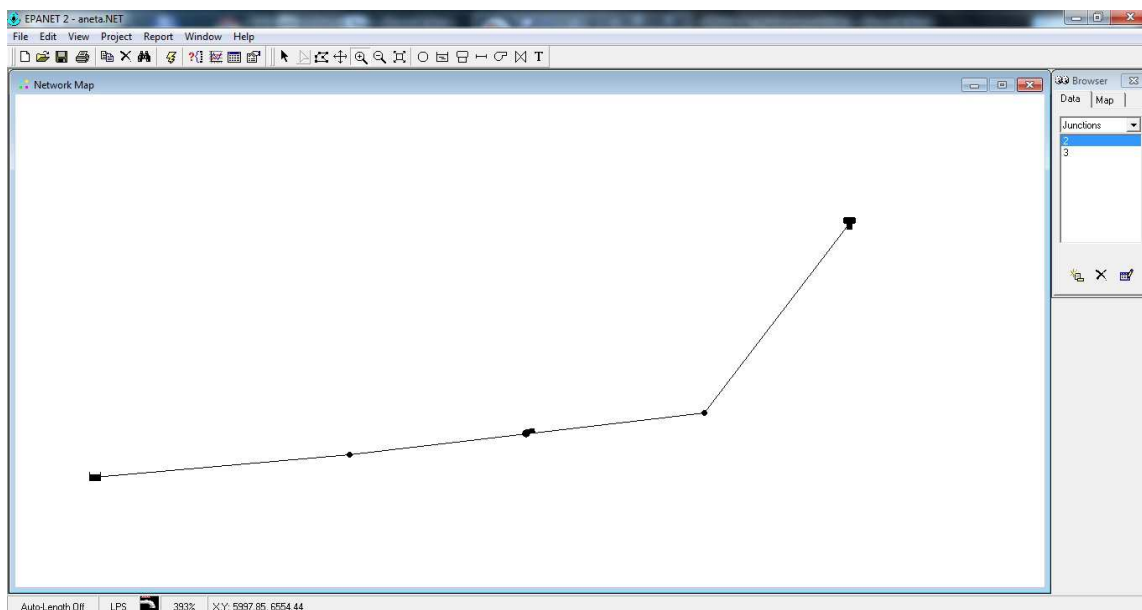
Samotný Mike Urban se skládá z několika modulů, jako je model pro kanalizační síť MOUSE, model pro dešťové vody Mike SWMM a modely pro distribuci vody kam patří HYPRESS pro výpočet vodního rázu a modul Mike NET (ODULA) pro vodovodní síť. Mike NET (ODULA) poskytuje svému uživateli počítat ustálené a kvazi-ustálené proudění a provádět modely kvality vody v potrubním systému. U analýzy kvality vody, poskytuje program možnost stanovení stáří vody v celém systému, detekuje zbytky chlóru ve vodě, šíření kontaminantů, růst vedlejších dezinfekčních produktů (TTHM - Totaltrihalogen Metan) nebo zjištění koncentrací rozpuštěných látek ve vodě. Při analýze staří vody se provádí simulace dopravy vody ve vodovodních sítích po dostatečně dlouhou dobu, při počáteční nulové hodnotě stáří vody. Dobu zdržení je nutno počítat pro každý uzel v síti.

4.1.2.3 Pipe 2012

Analýza kvality vody se provádí na stávajícím modelu sítě a poskytuje rozhraní k programu Epanet 2.0 a poskytuje provádět simulace jakosti vody (např. v délce 48 hodin), díky kterým je možné vypočítat stáří vody, chemické koncentrace (např. chlór). Pracovní prostředí programu Kypipe je celkem intuitivní a lze se s ním rychle seznámit navíc obsahuje několik užitečných funkcí, jako jsou Analýza nákladů, nebo skupinová editace, kdy chceme pro určitý typ potrubí najednou například změnit materiál. Do programu Pipe 2012 je možné importovat a používat modely z různých zdrojů, které sdílejí datový souborový formát Epanetu. Například, narýsujeme-li vodovodní síť v programu WaterCAD, následně pak navrženou síť vyexportujeme do Epanetu a z něho poté soubor s koncovkou .map nebo .net můžeme otevřít a použít v Pipe 2012 pro analýzu kvality vody. Program Epanet sice umí provádět analýzu kvality vody, ale simulace nejsou tak propracované jako například v Pipe 2012, který umožňuje ustálenou simulaci jakosti vody. A proto se tento program hodí v oblasti jakosti vody jako nadstavba programu Epanet 2.0. [27]

4.1.2.4 EPANET 2.0

Epanet slouží pro výpočet ustáleného a kvazi-ustáleného proudění nebo pro výpočet kvality vody. Je to počítačový program, který provádí i dlouhodobé simulace. Velikost navrhované sítě není omezena jako u jiných konkurenčních softwarů. Podrobnější popis programu je v kapitole 5.2. Pro výpočet kvality vody program Epanet využívá například model stárí vody, tento modul se často používá k předpovědi rozpadu zbytkového chlóru, růstu vedlejších produktů dezinfekce v rozvodech vody nebo v neposlední řadě i sledování šíření kontaminujících látek. Simulace vyhodnocuje růst případně rozpad jednoho ze sledovaných prvků. U samotné simulace kvality vody je nejprve potřeba dostatečně dlouhé časové období, po které sledujeme koncentraci dané látky a to i v jiných místech sítě v průběhu času. Hodnota počáteční kvality vody se zapisuje do vlastností uzlů „Junctions“ a vodojemu „Tanks“. Výstupním výsledkem pro všechny vypočtené uzly ve všech časových obdobích jsou tlaky a hodnoty kvality vody. Nádrž „Reservoir“ její kvalita nemůže být ovlivněna tím co se děje v síti. [13]



Obrázek 4-2: Pracovní plocha programu Epanet

4.1.2.5 *WaterCAD*

WaterCAD slouží pro výpočet ustáleného a kvazi-ustáleného proudění a také pro výpočet kvality vody. Výpočetní metoda je založena na bázi Epanet. Simulace jakosti vody se provádí pro stanovení stáří vody a stanovení růstu nebo rozpadu chemické složky ve vodě. Například pro analýzu stáří vody je nutno v počátku uvažovat nulový věk vody pro všechny uzly a vodu z nádrže je nutno uvažovat jako nekonečný zdroj nové vody. Pracovní prostředí programu WaterCAD využívá pohodlného kreslicího prostředí programu AutoCAD. Samotné zadávání dat se provádí zapisováním do přehledných tabulek podobně jako u programu Autopen, čímž se zrychlí práce v programu. [28]

4.1.2.6 *Aquis Operation*

Model AQUIS - Kvalita vody - sleduje běžné problémy s vodou jako jsou organoleptické vlastnosti (chuť, pach). Slouží také ke stanovení průměrné, okamžité a maximální stáří vody. Při překročení znečištění tento program umožňuje provádět analýzu při, které počítá s určitou prodlevou a zakreslí tak kolem dotčené oblasti čáru a radí, kdy si mají spotřebitelé vařit vodu a tím se vyhnout pití znečištěné vody. Případně operátorovi radí, který ventil musí být uzavřen či z jakého zdroje pochází zdroj znečištění. Aquis umožňuje import dat z programu Epanet, a zároveň umožňuje i export dat do programu Epanet, kvůli provedení simulací hydraulických a kvalitativních chování vody v rámci sítě. [7]

4.1.3 **Legislativa**

V České republice, se kvalita pitné vody řídí evropskou směrnicí pro jakost vody určenou k lidské spotřebě - 98/83/ES. Touto problematikou se zabývají zákon o ochraně veřejného zdraví č. 258/2000 Sb. a vyhláška č. 252/2004 sb. pro pitnou vodu a další.

Tato vyhláška stanovuje hygienické požadavky pro pitnou a teplou vodu k zásobování obyvatelstva pitnou vodou. Zároveň stanovuje četnost a rozsah pravidelných kontrol a to v rozsahu 63 sledovaných ukazatelů. Vyhláška však povoluje i zkrácenou verzi kontroly, zde se sleduje pouze 23 ukazatelů. Nepravidelné kontroly jsou možné v těchto případech:

- U nových částí vodovodu před jejich uvedením do provozu
- Přerušení dodávky vody po dobu delší jak 24 hodin
- Oprava havárií, při nichž mohlo dojít k ohrožení kvality vody

Další normou týkající se této problematiky je TNV 75 7121, která řeší požadavky na jakost vody dopravované potrubím o teplotě do 25°C.

4.2 HYDRAULICKÁ ANALÝZA A SIMULACE HYDRAULICKÉHO CHOVÁNÍ VE VODÁRENSTVÍ

4.2.1 Dostupný software

V praxi se vyskytuje mnoho programů, ve kterých lze provádět různé hydraulické analýzy na navrhovaných vodovodních sítích. V drtivé většině případů se však jedná o komplexní programy, které kromě hydraulické analýzy, mají i jiné užitečné vlastnosti. V této části bude přiblíženo celkem 10 vybraných programů zabývajících se touto problematikou.

4.2.1.1 Autopen

Program Autopen umožňuje několik druhů výpočtů. Jak již bylo napsáno výše, tento program je rozdělen do mnoha modulů. Každý z těchto modulů je určen na odlišnou práci v různém odvětví (např. vodovody, kanalizace, plyn, komunikace). Autopen je určen k dimenzování potrubí vodovodního řádu. Program umožňuje řešit sítě větvené i zpruhované. Výpočtem lze řešit nové sítě nebo i posuzovat stávající díla. Návrh sítě probíhá v následujících etapách:

- Sestavení schématu (návrh schématu je omezen počtem 3 300 uzlů a 6 600 úseků)
- Zadání výpočtových parametrů pro všechny uzly a úseky. Pro uzly to jsou např. geodetická výška, velikost odběru [l/s], uzly představují bodové odběry a úseky zase představují ulice. Pro úseky to jsou následující parametry jako např. délka úseků, materiál potrubí potřeba větve v [l/s].
- Výpočet dimenzí, tlaků a ztrát (výpočty se provádí podle manningových a ševelevových vzorců).
- Výsledným výstupem je formulář, který lze vytisknout nebo ukládat v souboru „.rtf“, který lze otevřít v textovém editoru.

Další užitečný druh výpočtů, poskytuje modul Kubatury vody, plynu ten umožňuje výpočet kubatur a ploch pažení, dále pak výpočet kubatur pro armaturní šachty a objekty. Kromě výpočtů týkajících se vodovodní sítě, program Autopen poskytuje i možnost výpočtů kubatur pro jiné odvětví, jako plyn nebo kanalizace.

4.2.1.2 Sewer +

Program Sewer+ kromě schopnosti projektování inženýrských sítí je také schopen navrhovat vodovodní potrubí. Pro správný výpočet při dimenzování potrubí je nutno znát parametry uzlů a úseků. Je zde také možnost určit, zda daný uzel je např. ventil, hydrant, čerpadlo, či zda v tomto uzlu dochází k odběru vody. Výpočty lze obdobně jako v Epanetu provádět dle různých výpočtových vzorců (Hazen-Williams, Chezy-Manning, Darcy-Weisbach). Ve fázi projektu, když je již za pomoci programu Sewer + narýsovaná situace i podélný profil a k tomu ještě, je-li i nadimenzované potrubí, lze provést i simulaci hydrotechnických výpočtů. Tato simulace se zobrazuje v podélném profilu, zde je možnost vykreslit tlakové čáry v sítí v závislosti na čase. Mimo jiné lze zde vykreslit i křivku proudění. Výsledek hydrotechnických výpočtů lze vyexportovat do Epanetu. Jak tomu je i u jiných projekčních programů tak i u programu Sewer +, lze vypočítat kubaturu. Pro automatický výpočet kubatury je potřeba jen vykreslit několik vzorových příčných řezů.

4.2.1.3 Siteflow

Výpočty v programu Siteflow jsou založeny na statické a kvazi-dynamické analýze. Program Siteflow umožňuje simulaci trubních systémů a otevřených koryt. Statické a kvazi-dynamické simulační výpočty se jako u mnoha jiných programů řeší pomocí výpočetního jádra Epanet od United States Environmental Protection Agency (US EPA). Hydraulická analýza v programu Siteflow zahrnuje tyto výstupy:

- Rychlost, průtok, tlak
- Místní tlakové ztráty a ztráty třením
- Stáří vody
- Výpočet změny kvality vody ve vodovodu

Siteflow disponuje řadou nástrojů pro kontinuální kontrolu předepsaných parametrů, jako jsou např. odstupy jednotlivých sítí či krytí zeminou. Využitím simulačního modelování lze navíc testovat hydraulické chování navržené sítě. Na navrženou síť je k dispozici databáze objektů s fyzikálně definovaným chováním (zpětné klapky, čerpadla, vodojemy, regulační ventily, dávkovače chemikálií, bodové odběry aj.) Při generování výstupů z programu Siteflow je velice užitečné automatické generování potřebných podkladů pro projektovou dokumentaci (situace s popisky, podélné profily ve výkresovém formátu .dxf a soupisky materiálu a výkopových prací v textové podobě). [21]

4.2.1.4 Winplan

Winplan je rozdělen do několika modulů, které lze navzájem propojit a pracovat tak na projektu ve více modulech. Jediným modulem na řešení hydrotechnických výpočtů ve vodovodech je modul VYTILA, který je určen pro výpočet ustáleného proudění v hydraulicky krátkém potrubí s prvky nebo armaturami. Při návrhu jednotlivých posuzovaných stavů se může pracovat s uzavěry na trase a tím zjistit provozní stavy v požadovaném rozsahu. Modul VYTILA je propojen s modulem Podélný profil vodovodu, takže všechny výpočty v modulu VYTILA se následně projeví v podélném profilu například při zadání hydraulických charakteristik prvků na sítích a okrajových parametrů se následně provede výpočet průtoků a průběhy tlakových čar a tyto výsledky se pak zobrazí v podélném profilu. Konečným výkresovým výstupem je podélný profil s vykreslenými tlakovými čarami, dalšími výstupy pak jsou i textové části se sestavou navržených prvků s jejich parametry. [26]

4.2.1.5 EPANET 2.0

EPANET 2.0 je volně stažitelný program, který je založen na výpočtech statické a kvazi-dynamické analýzy. Velikost navrhovaných sítí není nijak omezena. Výpočet hydraulické analýzy v Epanetu je velice důležitý a patří k hlavním náplním tohoto softwaru. Zde je výčet některých důležitých schopností.

- Při výpočtech tlakových ztrát třením lze v programu Epanet volit mezi třemi druhy výpočtových vzorců:
 - Hazen-Williams (turbulentní proudění, viskozita podobná vodě, teplota kolem 60°C)
 - Darcy-Weisbach (tlakové proudění)
 - Chezy-Manning (proudění otevřenými koryty)
- Návrh vhodného čerpadla (provedení výpočtů čerpaného množství, výpočet ztrát a následné určení zda vybrané čerpadlo je dostačující, podmínkou je také zadání hodnot pro křivku charakteristiky čerpadla).
- Epanet umožňuje vložení různých druhů ventilů pro regulaci tlaku nebo regulaci průtoků.
- Standardní výpočty u těchto typů programů jako jsou výpočet rychlosti, průtoky v potrubí, tlaky v každém uzlu, tlakové ztráty.
- Výpočet úniku vody z důvodu netěsností v potrubí (touto problematikou se bude zabývat, jeden ze vzorových příkladů v kapitole 5.2.)

4.2.1.6 *Pipe 2012*

Výpočet v programu Pipe 2012 je založen na stacionárním, kvazi-dynamickým a dynamickým prouděním. Simuluje hydraulické změny při manipulaci s uzavěry a při vypínání a zapínání čerpadel. Program Pipe 2012 zajišťuje pomocí GIS záznamů generování datových souborů pro hydraulickou analýzu a modely kvality vody.

Pipe 2012 umožňuje:

- Výpočet průtoků, tlaků a vyobrazení průtokových grafů atd.
- Delší doba simulace (např. 48 hodin)
- Animování trubního profilu – (určení prvního a posledního uzlu a zbytek se provede automaticky)

Výpočet požárního průtoku – výpočet se provádí pro nastavené hodnoty tlaku. [27]

4.2.1.7 *Watdis*

Program Watdis je určen pro modelování hydrauliky na vodovodních sítích. Ve zkratce je Watdis principiálně stejně vybavený jako program Epanet, ze kterého tento program vychází. Výpočetní model je také založen na statické a kvazi-dynamické analýze. Výpočty hydraulické analýzy v programu Watdis umožňují:

- Výpočet tlaků, rychlostí, tlakových ztrát
- Výpočet „emitterů“ – to jsou výpočty ztrát z netěsností v potrubí, nebo výpočty průtoků na postřikovačích.
- Výpočty týkající se vodojemů (zemní, věžový)
- Možnost umístění různých typů uzavěrů
- Při výpočtech tlakových ztrát třením lze v programu Watdis obdobně jak v programu EPANET volit mezi třemi druhy výpočtových vzorců:
 - Hazen-Williams (turbulentní proudění, viskozita podobná vodě, teplota kolem 60°C)
 - Darcy-Weisbach (tlakové proudění)
 - Chezy-Manning (proudění otevřenými koryty)

Při navrhování vodovodních úseků v programu Watdis není práce s ním omezena počty uzlů, úseků ani celkovou možnou navrhovanou dobou simulace.

4.2.1.8 *Mike Urban*

Mike Urban je postaven jako další komplexní program v řadě na základech výpočetního jádra Epanet. Provádí statické a kvazi-dynamické hydraulické analýzy za použití (Chézy-Manninga, Darcy-Weisbacha, Házen-Willamse) pro výpočet ztrát třením. Umožňuje provést více analýz na jednom schématu a následně je spolu srovnávat. Cílem tohoto programu je sjednotit dřívější programové prostředky do jednoho (Mouse, Mike NET, Mike SWMM, Hypress). Problematiku vodovodních sítí se zabývá Mike NET (ODULA) provádí výpočet ustáleného a kvazi-ustáleného proudění, navrhovanou sítí je možné sestavit z neomezeného počtu prvků potrubní sítě. Vlastnosti, které byly přidány do programu Mike Urban, z programu Mike NET jsou především tyto následující:

- Hydraulická analýza
- Alokace odběrů
- Analýza požárního průtoku
- Analýza kvality vody
- Kvazi-ustálené proudění

Na síti je možné navrhnout například tyto následující prvky:

- Uzly
- Potrubí
- Čerpadla
- Uzávěry
- Nádrže
- Vodojemy
- Emittery

Pracovní plocha programu Mike NET je velice podobná programu Epanet. [17]

4.2.1.9 *ARTSTM - Hydraulic software design*

Programem ARTS lze řešit ustálený průtok vody, vzduchu a kalů jednotlivými potrubími a tlakovými sítěmi. Dále pak je program schopen řešit říční a bystřinné proudění v otevřených žlabech, vodní ráz ve výtlačném potrubí a také návrh jednotlivých objektů i soustav ČOV.

ARTS je programem, který je schopen řešit širší spektrum výpočtů a k nim patří následující:

- Steady Pipe Flow – Proudění v jednotlivých trubkách a potrubních sítích
- Open Channel Flow – Tok v otevřeném kanálu. Patří sem hydraulické profily v jednorůžkovém kanálu a přepadové kanály
- Měření průtoku – hydraulický návrh žlabu a jezu
- Čerpací stanice – výpočet pracovního bodu
- Waterhammer analysis – analýza vodního rázu

Steady Pipe Flow – analýza ustáleného proudění v potrubí

Potrubí může mít vybavení, jako jsou ohyby, ventily atd., vložených jako jednotlivé položky nebo jako celkový odpor.

Open Channel Flow – analýza průtoku v otevřeném korytě

Výpočet průtoků v kanálech pravoúhlých, trapézových, U-tvaru, V-tvaru, parabolického tvaru a kruhového průřezu. Může se sledovat proudění v jednotlivých kanálech i v sériích kanálů. [6]

4.2.1.10 HydraulCAD

HydraulCAD je softwarový prostředek pro simulování statické a kvazi-dynamické analýzy hydraulických poměrů v tlakové trubní síti. Program pracuje s následujícími prvky:

- Potrubí
- Potrubní vstupy obsahují následující hodnoty – délka, určení dvou uzlů (počáteční a koncový bod), typ materiálu, drsnost.
- Potrubní výstupy obsahují následující hodnoty – průtok, rychlost proudění vody, tlakové ztráty.
- Uzly
- Čerpadla
- Ventily
- Vodojemy
- Nádrže
- Výtoky

HydraulCAD využívá výpočtové jádro Epanet. Program poskytuje možnost sledovat průtoky na úsecích, tlaky v uzlech, výšky hladin ve vodojemu, a to vše je barevně rozlišené pro lepší přehlednost. Hydraulické výpočty tlakových ztrát se provádí v Epanet modulu výpočtem podle rovnic dle (Házen-Williams, Darcy-Weisbach, Chézy-Manning). [16]

4.2.2 Legislativa

Při vytváření hydraulických analýz ve vodárenství je potřeba pracovat v souladu s technickými normami a zákony. V České republice jsou dvě důležité legislativní opatření, které se zabývají vodovodními sítěmi.

Prvním v pořadí je technická norma ČSN 75 5401 – Navrhování vodovodního potrubí, tato norma udává kromě materiálů, uložení potrubí atd. i všeobecné požadavky při návrhu potrubí, v této části se nachází důležité informace ohledně návrhového přetlaku. V nejnižším místě nového rozváděcího řadu pro zásobování nových budov nesmí hydrostatický přetlak přesáhnout hodnotu 0,6 MPa, a pouze v odůvodněných případech může tato hodnota přesáhnout 0,7 MPa. Avšak jedná-li se o výškové budovy, nemusí ani hodnota 0,7 MPa stačit, proto je nutné v této budově zřídit zařízení na zvýšení tlaku (automatickou tlakovou čerpací stanicí), tak aby byl zajištěn dostatečný přetlak na všech výtokových armaturách v budově.

Druhou zmiňovanou legislativou je již dříve vydaný zákon 274/2001 Sb. – Zákon o vodovodech a kanalizacích a jeho prováděcí vyhláška 428/2001 Sb. Jedná se o rozsáhlý dokument rozdělený do několika kapitol. V §15 odst. 5 jsou tlakové podmínky na síti více popsány. V tomto odstavci je stanoven minimální hydrodynamický přetlak při napojení vodovodní přípojky na rozvodnou síť. U budov do dvou nadzemních podlaží nesmí hodnota klesnout pod 0,15 MPa a u budov nad dvě nadzemní podlaží tato hodnota nesmí klesnout pod 0,25 MPa. [36]

4.3 PROJEKTOVÁNÍ VODOVODNÍCH SÍTÍ A KANALIZACÍ

V této kapitole je stručně přiblíženo na několika vybraných programech zabývajících se projektováním vodovodních a kanalizačních sítí jejich vlastností a dostupností. V poslední části této kapitoly je ukázáno několik norem, které mají co dočinění se zásadami při navrhování kanalizací a vodovodů, ale také i týkající se správného zakreslování jednotlivých sítí do výkresu.

4.3.1 Dostupný software

Softwarové prostředky, které jsou blíže popsány v následujících řádcích, jsou určeny pro projektování ve vodárenství. Především na projektování vodovodů a kanalizací, ale i otevřených koryt. Avšak některé z těchto programů umí i základní hydraulické výpočty (na bázi výpočetního modulu Epanet). Hlavními výhodami těchto programů jsou vykreslování podélných profilů vodovodů, přehledných podélných profilů, kladečských schémat atd.

4.3.1.1 Sewer +

Sewer+ oplývá mnoha výhodami a užitečnými funkcemi. K těmto výhodám patří např. výpočet hydrotechnických údajů. V případě použití AutoCAD Civil 3D pro Sewer+ jsou následující výhody. Z dat vytvořených v Sewer+ je možno vytvořit digitální model, využívaný při návrhu potrubní sítě. Dále je možnost návrhu liniových staveb (návrh toků, opěrné zdi atd.) nebo i snadné modelování a úprava zemních těles (retenční nádrže, bazény aj.) V případě použití AutoCAD Map 3D pro Sewer+ je výhodou možnost vytvoření vlastního 3D modelu terénu, bez limitování v souvislosti s návrhem inženýrských sítí. Sewer+ v souhrnu tedy umožňuje tvorbu situací, podélných profilů, příčných řezů a v neposlední řadě i tvorbu hydrotechnických výpočtů. Postup při práci s tímto programem je následující. Nejprve je potřeba vytvořit digitální model oblasti, kde se poté bude navrhovat vodovodní, kanalizační potrubí a je-li třeba i jiné inženýrské sítě. Velice užitečnou funkcí je, navrhne-li se nějaký objekt na trase nebo vznikne-li křížení, vše se promítne do ostatních vykreslených výkresů, což velmi ulehčí práci. [20]

4.3.1.2 Winplan

Winplan je ve skutečnosti systém sedmi základních programů. Jsou to programy:

- **TRASA** - Tento modul pracuje s geodetickými údaji liniových staveb, kde je možno s těmito daty dále pracovat a upravovat do vhodného stavu pro výkresy podélných profilů či situací.
- **Podélný profil vodních toků** - Vykreslování výkresů podélných profilů toku s jednoduchými výpočty.
- **Prefabrikované kanalizační šachty** - Návrh vodotěsných kanalizačních šachet. Tento modul je propojen s modulem Podélný profil kanalizace.
- **Podélný profil kanalizace** - Vykreslování výkresů podélných profilů stokových sítí s možností jednoduchých základních výpočtů (rychlost, průtok, sklon).
- **Podélný profil vodovodu** - je to obdobný modul jako podélný profil kanalizace, jen s rozdílem používání objektů nacházejících se na vodovodních sítích (hydranty, vzdušníky atd.)
- **Kladečské schéma vodovodu** - Vykreslování výkresů kladečských schémat s možností vkládání výrobků z katalogu. Je zde dodrženo správné označování jednotlivých výrobků.
- **VYTLA** - Výpočet ustáleného proudění v hydraulicky krátkém vodovodním potrubí. [26]

Toto je výčet hlavních modulů systémového programu Winplan. Pro účely této práce jsou důležité moduly Podélný profil vodovodu a Kladečské schéma vodovodu. Sweco Hydroprojekt a.s. mimo jiné vyvíjí i jiné zakázkové programy zabývající se problematikou vodního hospodářství.

Kladečské schéma vodovodu je velmi přehledný software, čímž je zajištěno rychlé sžití s prací v něm. Práce v tomto modelu je hodně rychlá, nejprve si vlevo v bočním menu vybere jeden z možných výrobců (JMA, HAWLE, VOD-KA), kde je jejich aktualizovaný sortiment (uzávěry, zpětné klapky, tvarovky). Sortiment z katalogu je možné i editovat a upravovat jejich popis nebo vyměnit jeden výrobek za jiný. Při vkládání jednotlivých armatur, kotevních bloků nebo tvarovek se v menu ještě volí tučnost, natočení, velikost značky, a zda chceme popis k dané značce. Poté už jen zbývá vykreslit síť za pomoci spojnice. Velice užitečným výstupem z tohoto modelu je výpis použitých výrobků. Výstupy z tohoto modulu je možné tisknout přímo z modulu i na větší formáty papíru (plotter) než je tomu u podélných profilů, nebo je zde možnost výsledek vyexportovat, jako formát (.dxf) CAD

Podélný profil vodovodu si je velice podobný s ostatními moduly systému Winplan a to zejména svou pracovní plochou, která je velice intuitivní a nenachází se zde žádné složité funkce. Na začátku při vykreslování se začíná s vykreslováním terénu a společně se může zadávat už i hloubka uložení vodovodního potrubí. Po vynesení trasy se pod výkresem už vypočítává sklon, pod kterým se potrubí vyneslo a délka jednotlivých úseků. Po zadání

hodnot průměrů potrubí se pod výkresem vypočte rychlost a průtok na trase. Dále je zde možnost zadávat údaje o katastru, kulturách, křížení s nadzemními i podzemními inženýrskými sítěmi, parcelních číslech, druzích pozemků. Základní souřadnice pro tento modul, sem mohou být vkládány i přes modul TRASA. Výstupy z tohoto modulu je jako u kladečského schématu vodovodu možno vytisknout buď přímo z modulu (je zapotřebí plná verze modulu), nebo vyexportovat výsledek do formátu CAD souboru.

4.3.1.3 *Autopen*

Software AutoPEN spolupracuje s AutoCAD LT[®], AutoCAD[®], dále spolupracuje s programy Draftsight, ZWCAD, BricsCAD, Bentley Microstation, DesignCAD. Autopen obdobně jako Winplan má velmi bohatý a obdobný balíček programů mezi které patří, programy na tvorbu následujících výkresů:

- **Situace** – tento program slouží k odečítání souřadnic v již vytvořeném CAD souboru. Výstupem jsou vytyčovací souřadnice, které jsou užitečné u podélných profilů.
- **Kubatury** – jsou čtyři různé verze programů na výpočet kubatur, které jsou rozdělené podle účelu na oblast kanalizace, výpočet kubatury pro vodu a plyn, výpočet kubatury pro pozemní komunikace a výpočet kubatury pro vodní toky.
- **Podélný profil** – tvorba podélných profilů je také rozdělena na čtyři stejné odvětví na podélný profil pro vodovody a plynovody, kanalizaci, vodní toky a posledním je podélný profil pro pozemní komunikace.
- **Kladečský plán** – slouží k vykreslování kladečských výkresů. Při využití výrobků z litiny a tvárné litiny od výrobců JMA, HAWLE, VOD-KA, DUKTUS.
- **Výpočet vodovodní sítě** - dimenzování potrubí vodovodního řadu. Program umožňuje řešit síť větvené i okružové. Výpočtem lze řešit nové síť i posuzovat stávající díla.

Podélný profil vodovodu – Poskytuje možnost klasického vykreslování podélného profilu. S vynášením kót terénu a hloubky krytí vodovodu v terénu. S nutností kontroly spádu potrubí. Parametry potrubí a dalších objektů se zadávají do seznamu v dialogovém panelu.

Přehledný podélný profil – V tomto výkresu se kromě klasických hodnot, jako staničení, výška vrcholových bodů terénu, vykreslují i tlakové čáry. [8]

4.3.1.4 *Siteflow*[®]

Siteflow je opatřen užitečnou funkcí propojení všech výkresů nakreslených v projektu přes program Siteflow, a tím se případné opravy nebo dodatečné vkládání objektů do situací nebo do podélných profilů automaticky doplní do zbylých výkresů, čímž se urychlí práce. Zadávání souřadnic řešené sítě lze buď zadávat v programu přes digitální model terénu, nebo lze i všechny souřadnice vypsané MS Excelu importovat do výkresu a provést vykreslení výškového členění sítě. Po navržení dimenzí potrubí se pod výkresem podélného

profilu vypíše spočtené hodnoty rychlostí a průtoků a jiné, obdobně jak tomu je u známějšího Winplanu. Dalšími funkcemi je možnost označení úseku a zadat zda se jedná o přípojku či ne. A jednou z odlišností oproti konkurenčnímu systém programů Winplan je např. možnost automatického přečíslování uzlů, šachet, či jiných objektů, i když se to jeví jako drobnost, tak v situacích kdy u dlouhé trasy je potřeba znovu přečíslovat trasu, tak to rozhodně pomůže usnadnit práci. Výstupy z programu Siteflow lze vyexportovat do formátu .dxf a následně pak upravit v libovolném CAD systému. Dále je možnost exportu do souborů (.xls, .txt, .emf)

4.3.2 Legislativa

Projektování vodovodních sítí je u nás v České republice zaštitěno řadou stavebních norem. Mezi nejdůležitější normu, kterou je nutné dodržet, aby se dospělo ke správné podobě technických výkresů vodovodů, je norma ČSN 01 3462. Tento právní předpis určuje, jak mají vypadat jednotlivé části projektové dokumentace a jaký je systém označení vodovodních řadů a objektů, jaká grafická označení se mohou použít a jaká měřítko výkresů jsou povolena. Tato norma se zabývá i správností výkresů úpraven vod nebo i vodojemů. Na konci této normy se v příloze nachází vzorové příklady výkresů. Základní požadavky na kreslení, popis a úpravu všech druhů technických výkresů určuje ČSN 01 3105. K dalším důležitým normám patří i ČSN 75 5401, která udává podmínky pro navrhování potrubí. Tato norma stanovuje podmínky, při řešení návrhu armatur vodovodního potrubí (uzavírací armatury, regulační armatury, ovládání ručních armatur, odzdušnění vodovodního potrubí, vypouštěcí zařízení, hydranty, výtokové stojany, redukční ventily), dále pak řešení šachet, ochrany proti korozi, měření průtoků či uložení vodovodního potrubí. Další normou v pořadí je ČSN 75 5411 určující pravidla pro vodovodní přípojky. Obdobně je tomu u návrhu kanalizací, kde technické výkresy kanalizací jsou dány normou ČSN 01 3463 a také normou ČSN 75 6101 pro stokové a kanalizační přípojky. Umístění vodovodních sítí v silniční komunikaci i u ostatních inženýrských sítí je přesně vzdálenostně určeno prostorovou normou ČSN 73 6005 (prostorové uspořádání sítí). Zde jsou informace o nejmenších dovolených krytí, dále pak nejmenší dovolené svislé i vodorovné vzdálenosti jednotlivých inženýrských sítí mezi sebou.

4.4 SOFTWARE NA VYTVÁŘENÍ SIMULAČNÍCH MODELŮ

V této kapitole bude stručně přiblíženo několik programů zabývajících se vytvářením simulačních modulů, modelováním a výpočtem dynamiky kapalin.

4.4.1 Dostupný software

4.4.1.1 *Flow 3D*

Flow 3D se zabývá problematikou, se kterou pracují inženýři při navrhování vodních energetických projektů nebo při navrhování městských čistíren odpadních vod. Simulacemi se může totiž při testování navrhovaných možností optimalizovat dané řešení a tím i ušetřit čas i peníze. Flow 3D se specializuje na bezpovrchové toky, takže ideální nástroj pro simulaci tekutin. Slouží především k řešení dynamiky kapalin a poskytuje výkonný nástroj pro komplexní modelování problémů tekutin, používá se ve fázi návrhu, pro zlepšování výrobních procesů. [14]

4.4.1.2 *Fluent*

Fluent se nejvíce používá pro nestlačitelné a mírně stlačitelné vodní průtoky. Slouží zároveň pro analýzu proudění. Program Fluent obsahuje fyzikální model pro širokou řadu aplikací včetně turbulentního proudění, přenosu tepla, chemického směšování, spalování a vícefázového průtoku. [15]

4.4.1.3 *Comsol*

Systém Comsol je simulační software pro různé fyzikální a technické aplikace, skládá se z mnoha dílčích modulů (celkem 26 druhů modulů). Pro účel této bakalářské práce se krátce přiblíží dva z těchto modulů a to Pipe Flow a CFD module.

Pipe Flow - Jedná se o specializovaný nadstavbový modul, který je určen k simulacím jevů v potrubních sítích a kanálech. Do modelu lze zahrnout jak proudění, tak i přestup tepla v tekutině, případně akustiku v rozvodných sítích. Tento modul může být použit k designu a optimalizaci – (pro komplexní chladicí systémy v turbínách, ventilační systémy v budovách, geotermální vytápění či výměnících tepla).

CFD Module – Tento produkt je určen pro náročné simulace proudění tekutin (pro stlačitelné i nestlačitelné) může být také kombinován s pokročilými modely turbulence. Příklady využití: [10]

- Proudění v trubkách a dalších uzavřených prostorech
- Sedimentace

- Pumpy, mísící nádoby
- Filtry a separační jednotky
- Mixéry a další rotační stroje

Zkrácený pracovní postup při vytváření modelu:

- Vytvoření geometrie zkoumaného modelu klasickými CAD nástroji v grafickém editoru Comsol Multiphysics
- Zadání okrajových podmínek a vlastností oblasti
- Generování výpočetní sítě
- Řešení modelu
- Konečné zpracování výsledku

4.4.1.4 Autodesk simulation CFD

Tento software řeší úlohy proudění a přenosu tepla prakticky ve všech oborech obdobně jako systém Comsol. Slouží také k provádění zátěžových testů (simulaci proudění). Systém obsahuje funkci zvanou Flow Simulation a zahrnuje následující typy proudění:

- Laminární
- Turbulentní
- V nestlačitelném stavu
- V ustáleném stavu

Autodesk simulation CFD se dělí na:

Autodesk Simulation CFD ADVANCED – Umožňuje studovat přechodné simulace, stlačitelný tok, míchání tekutin, účinky záření či vlhkost.

Autodesk Simulation CFD MOTION – Umožňuje studovat jak součásti čerpadel, ventilátorů, dmychadel a jejich reakci na proudění. Slouží také k zobrazení účinků pohybu, výsledkem je vytváření animace pro vizuální studium a design srovnání. [9]

5 PODROBNÝ POPIS VYBRANÉHO SOFTWARE

V této kapitole jsou přiblíženy tři vytypované programy a to WATPRO, Watdis, EPANET 2.0. U každého z těchto programů jsou podrobněji vypsány jejich schopnosti, dostupnost a zároveň je u nich vyřešen alespoň jeden vzorový příklad případové studie a v samém závěru je zhodnocení programu s prací v něm a i případné srovnání s jinými programy.

5.1 WATPRO

5.1.1 Úvod k programu

WATPRO patří mezi přední simulátory kvality vody, jeho výjimečnost spočívá v možnosti rychlého návrhu jednotlivých technologií používaných při úpravě vody. Za vznikem toho program stojí kanadští vývojáři ze společnosti Hydromantis.

5.1.2 Dostupnost a systémové požadavky

Jedinečnost svého výrobku si nejspíš uvědomují i sami vývojáři, je to totiž vidět i na ceně za pořízení plné verze tohoto programu. Za plnou verzi tohoto programu si totiž musíme našetřit 3 950\$ USD (v přepočtu cca 80 tisíc Kč). Nebo si je možno pořídit licenci na jeden rok za 1 580\$ USD (v přepočtu cca 32 tisíc Kč). Nákup případných dalších licencí už se provádí po internetu za 500\$ USD (v přepočtu cca 10 tisíc Kč) a je možnost uplatnění i nákupních slev. Na internetu lze program WATPRO stáhnout jako demoverzi, která je zcela zdarma, ale tato verze je pak samozřejmě neúplná. V demoverzi například nemůžete zadávat žádné vstupní hodnoty surové vody nebo nelze sledovat velké množství ukazatelů při procesu čištění a v neposlední řadě si nemůžete pořídit jakýkoliv výstup jako například tisk výsledné zprávy, nebo nemožnost uložení samotné navržené soustavy technologií. V plné verzi WATPRO pro ukládání svých souborů využívá příponu .ww jakožto výchozí soubor. Samotný program je velmi přehledný a intuitivní a velmi rychle je možno se s ním naučit pracovat, podmínkou jsou pouze základní znalosti této problematiky. Program bez potíží funguje na operačním systému Windows.

Systémové požadavky:

| | |
|----------------------|---|
| Procesor - | Pentium Class (všechny systémy vyrobené od roku 1995) |
| Operační Systém - | Win 95 nebo novější až XP |
| Display - | 1024 x 768 16 – bit High Color |
| Dostupná RAM paměť - | 8 MB |
| Dostupný Hard Disk - | 2 MB (single license) or 5 MB (network) |

5.1.3 Možnosti programu WATPRO

Po spuštění programu WATPRO se uživatel může velmi rychle zorientovat v pracovní ploše programu a to díky jednoduchosti provedení. V hlavním menu je možnost velmi rychle si vybrat jednotlivá zařízení úpravy vody. Poté přes tabulku tohoto zařízení nadefinovat návrhové parametry nebo sledovat výsledné koncentrace ukazatelů a ostatních hodnot, které jsou nutné pro správný chod úpravy vody. Menu pracovního prostředí poskytuje uživateli možnost vybírat z následujících zařízení:

- Surová voda
- Chemické přísady (manganistan draselný, hydroxid sodný, hydroxid vápenatý, uhličitán sodný)
- Desinfekční přísady (chloramin, plynný chlór, chlornan sodný, oxid chloričitý)
- Flokulace
- Usazovací nádrž
- Kanál
- Filtrace
- GAC filtrace (GAC = granulované aktivní uhlí)
- Membrána
- Kontaktní nádrž
- Ozonizace
- Měření
- Studna
- Nádrž
- Konečná upravená voda

Před samotným sestavením simulace navržené úpravy vody je nutno navrhnout parametry surové vody, na které se teprve pak navrhují jednotlivé objekty. U surové vody lze nastavit například průtok, teplotu, pH, zákal (Turbidity), TOC (Total Organic Carbon) koncentrace organických látek ve vodě, SUVA (Specific ultraviolet absorption) specifická absorbance UV záření atd. WATPRO využívá i nástrojů systému Windows, lze tu totiž rychle nalézt například kalkulačku, či poznámkový blok. Mezi další zajímavosti patří i možnost nakalibrovat si výpočty, které udávají množství TTHM (Totaltrihalogen Metan) celkového trihalogen metanu, nebo udávající množství chlorátů, chloritanů nebo i množství HAA₅ (five haloacetic acids). Například forma TTHM modelu, který je používáný v WatPro je založena na výzkumu provedeného. Amy et. al. (Amy G., Chadik and Chowdhury, "Developing Models for Predicting Trihalomethane Formation Potencial and Kinetics", Journal AWWA, 79:7:89-97 (July, 1987). Empirický model vyvinutý Amy et. al. je uveden níže (5-1). [25]

$$TTHM = 0,00309 \cdot [(TOC \cdot UV)^{0,44}] \cdot [Cl_2^{0,409}] \cdot [t^{0,265}] \cdot [T^{1,06}] \cdot [(pH - 2,6)^{0,715}] \cdot [(Br + 1)^{0,03}]$$

(5-1)

- TTHM = celková koncentrace trihalogenmetanu ($\mu\text{mol/l}$)
- TOC = celkový organický uhlík (mg/l)
- UV = absorbance při 254 nm ($1/\text{cm}$)
- Cl_2 = dávkování chlóru (mg/l)
- t = doba reakce (h)
- l = teplota ($^{\circ}\text{C}$)
- Br = koncentrace bromidu (mg/l)

Velmi praktickou věcí je zde možnost nastavení limitů vysokých, středních nebo příznivých koncentrací jednotlivých ukazatelů s možností barevného rozlišení. Tento postup se hodí, když už máme navrženou úpravnu vody a kontrolujeme, jestli například daná dávka desinfekce postačí, abychom dosáhli požadovaného limitu, poté už pouze stačí vyhodnotit celý systém a barevné odlišení se stupnicí nastavených limitů nám řekne ihned výsledek bez nutnosti nahlížet do všech nastavených objektů v soustavě.

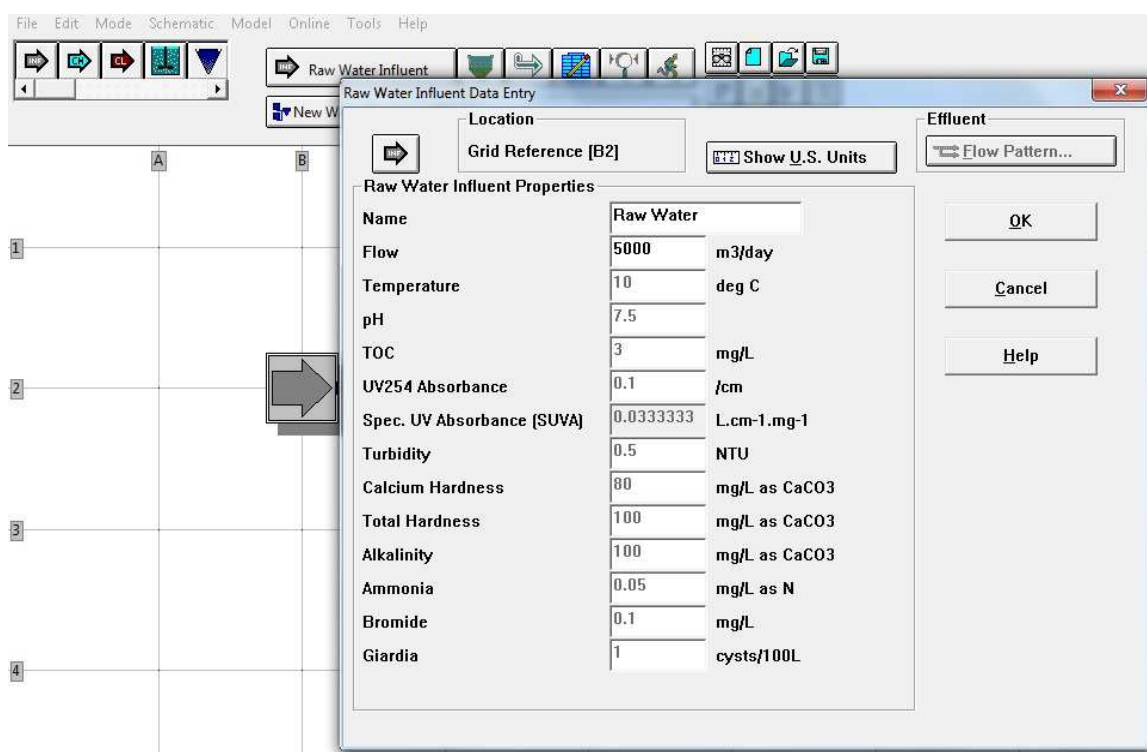
Hlavní použití a výhody WATPRO:

- Návrh úpravy vody
- Minimalizování vedlejších produktů desinfekce (Chloráty, chlorečnany, TTHM, HAAs).
- Výpočet koncentrací pro libovolné místo na úpravně
- Zajistit účinnost dezinfekcí
- Možnost získání kompletní dokumentace ze všech výstupů (pouze u plné verze)
- Sledování přítomnosti bakterie E-coli

Dalším nástrojem tohoto programu je možnost využívání monitorování v reálném čase pomocí systému SCADA, ten umožňuje nepřetržité monitorování výkonu sledovaného systému, nejprve je však nutné nakalibrovat celý systém (průtoky upravované vody, dávky dezinfekčních prostředků atd.). Tento systém využívá mnoho programů. Velkou výhodou tohoto programu je možnost sledování přítomnosti bakterie E-coli a podávat tak informace, zda byla tato patogenní bakterie přiměřeně inaktivována.

5.1.4 Výpočet vzorového příkladu

Na třech vzorových příkladech v programu WATPRO budou ukázány schopnosti tohoto softwaru a zároveň i lehkost práce v něm. Cílem těchto vzorových příkladů je také i hledání ideálního řešení pro návrh jednotlivých objektů na úpravně vody a najít tak nejúčinnější variantu. Prvním úkolem při práci v programu WATPRO je nastavení parametrů přitékající surové vody. Avšak tyto vzorové příklady byly vypracovány v demoverzi tohoto programu, která neposkytuje možnost změny parametrů surové vody. Parametry surové vody jsou standardně u této demoverze následující:



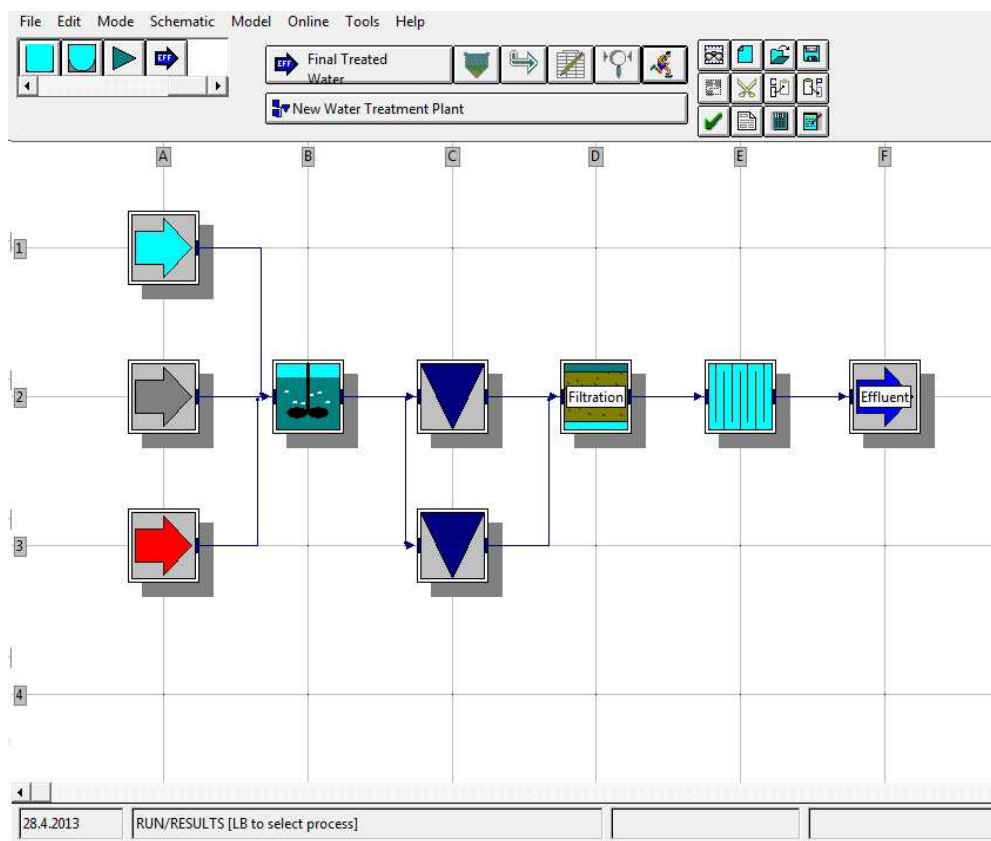
Obrázek 5-1: Defaultně nastavené hodnoty surové vody – demoverze

U všech těchto příkladů se sledují převážně následující hodnoty:

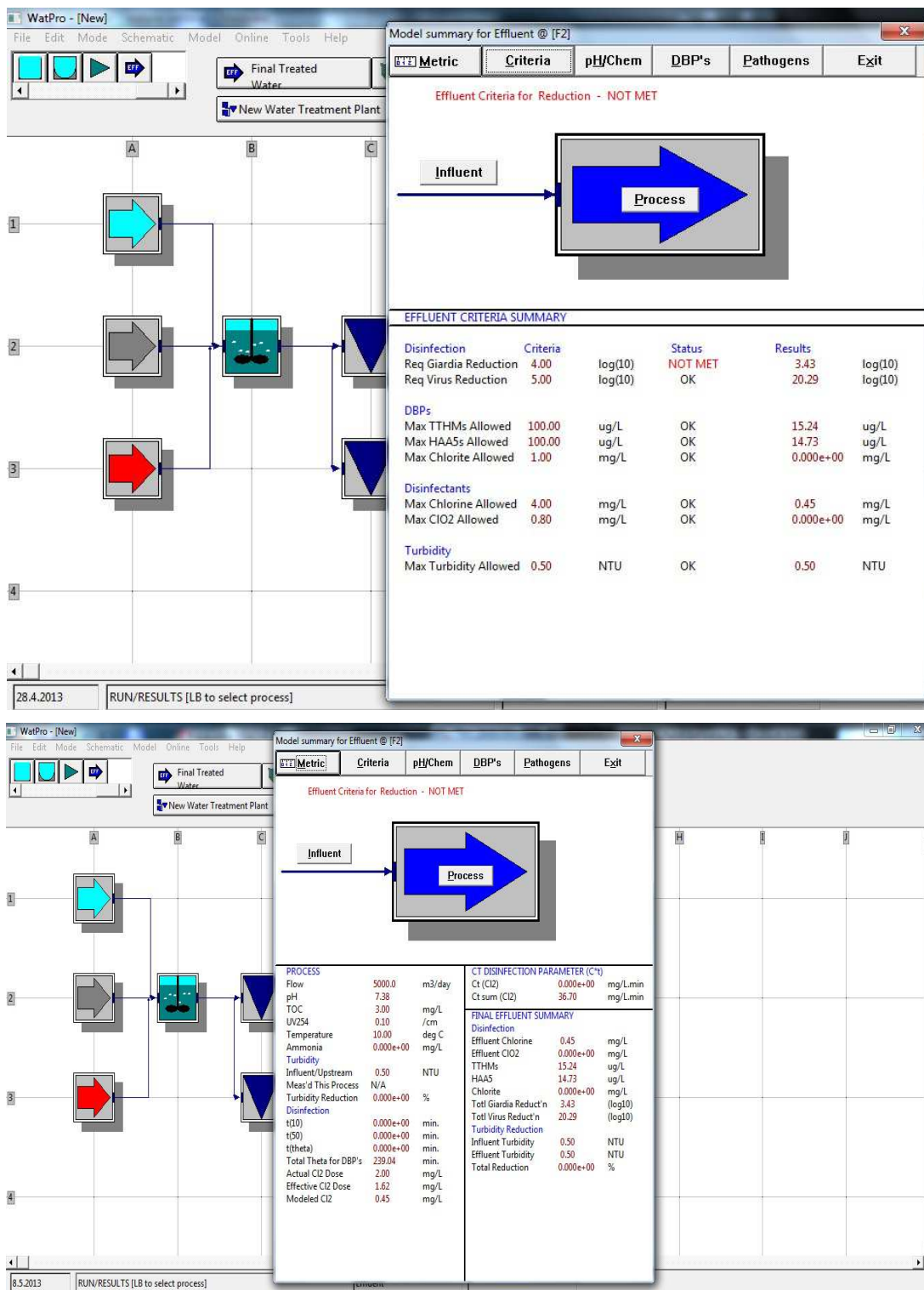
- TOC - celkový organický uhlík (mg/l)
- UV - absorbance při 254 nm (1/cm)
- TTHM - celková koncentrace trihalogenmetanu (μmol/l)
- Turbidity – Zákal (NTU)
- pH
- Disinfection – Req Giardia Reduction, Req Virus Reduction (log(10))

Prvním typem příkladu pro návrh úpravy vody je soustava skládající se z následujících objektů a zařízení přesně v tomto pořadí:

- Přítok surové vody
- Přídavek chemikálií – v tomto případě je použit Manganistan draselný KmnO_4 (Potassium permanganate) o velikosti dávky 2 mg/l.
- Přídavek dezinfekčního prostředku – v tomto případě je použit plynný chlór Cl_2 - (Chlorine) o velikosti dávky 2 mg/l.
- Flokulace – (Flocculation)
- 2x Usazovací nádrž – (Settling basin)
- Filtrace – (Filtration)
- Kontaktní nádrž – (Contact tank)
- Konečná upravená voda – (Final treated water)

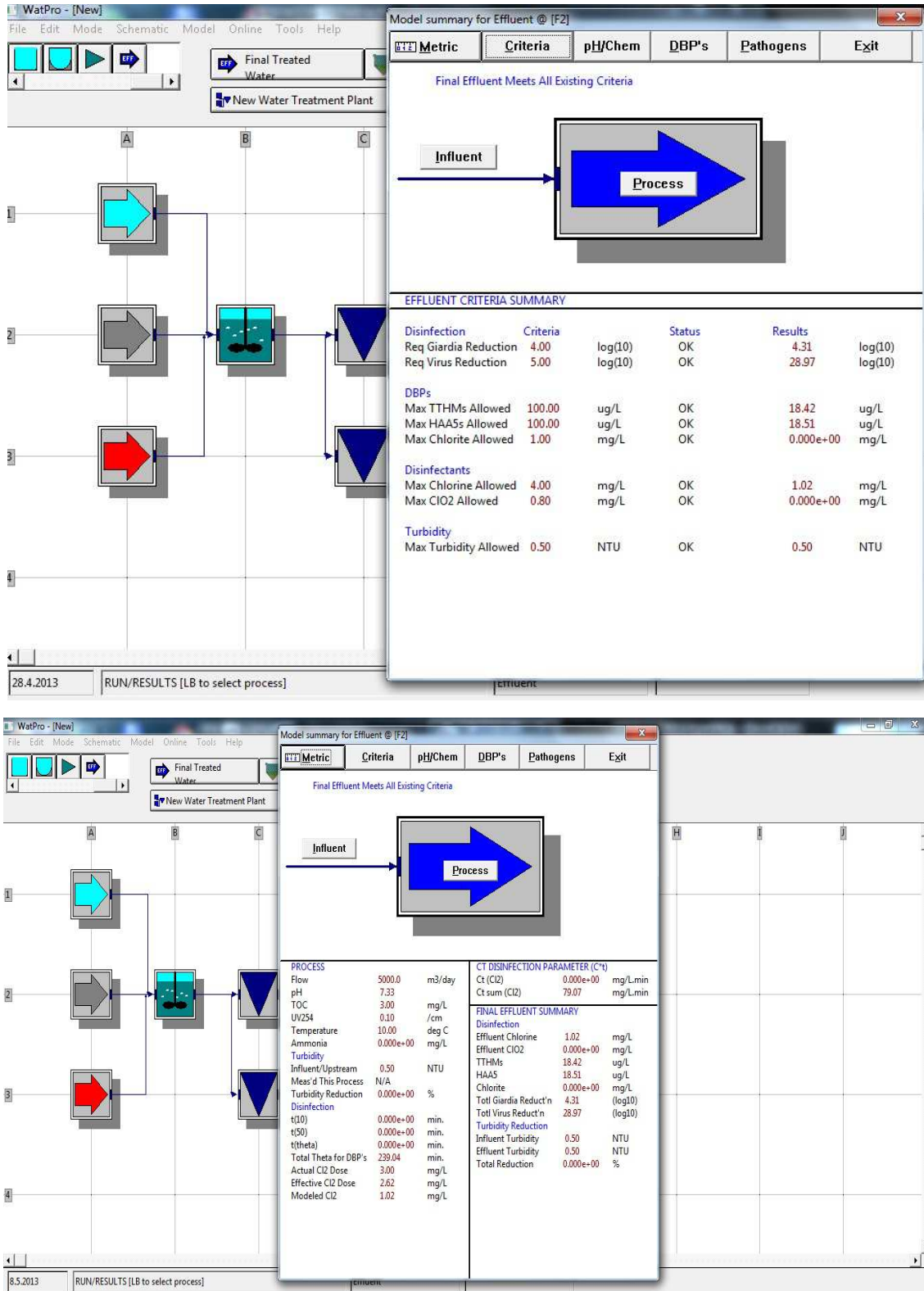


Obrázek 5-2: Navržená sestava úpravy vody – Vzorový příklad č.1



Obrázek 5-3: Výsledné hodnoty sledovaných ukazatelů vzorového příkladů č.1

Takto navržená úpravná vody ale nevyhovuje podmínkám na odstranění všech bakterií. Z těchto důvodů je nutno navrhnout větší dávky dezinfekce plynného chlóru ze 2 mg/l na 3 mg/l a také zvětšit dávku manganistanu draselného ze 2 mg/l na 3 mg/l.



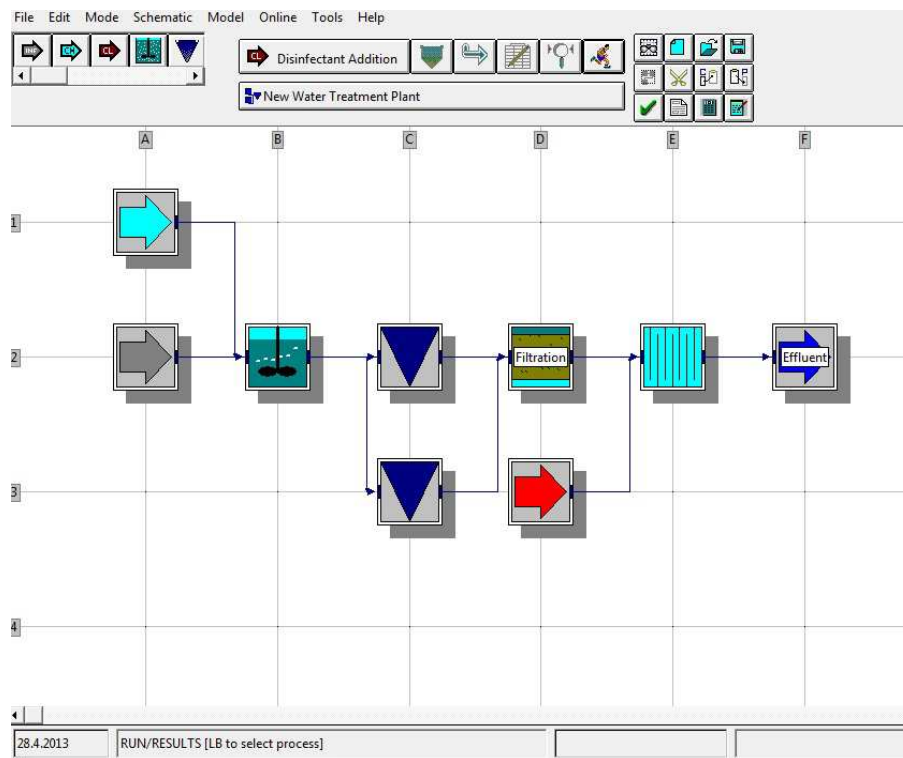
Obrázek 5-4: Velikost dávek dezinfekce a chemických přísadků je dostačující

Výsledné hodnoty varianty č.1:

- TOC - 3 mg/l
- UV254 – 0,1 1/cm
- TTHM – 18,42 $\mu\text{mol/l}$
- Turbidity – Zákal – 0,5 NTU
- pH – 7,33
- Disinfection – Req Giardia Reduction – 4,31 log(10)
- Disinfection – Req Virus Reduction – 28,97 log(10)

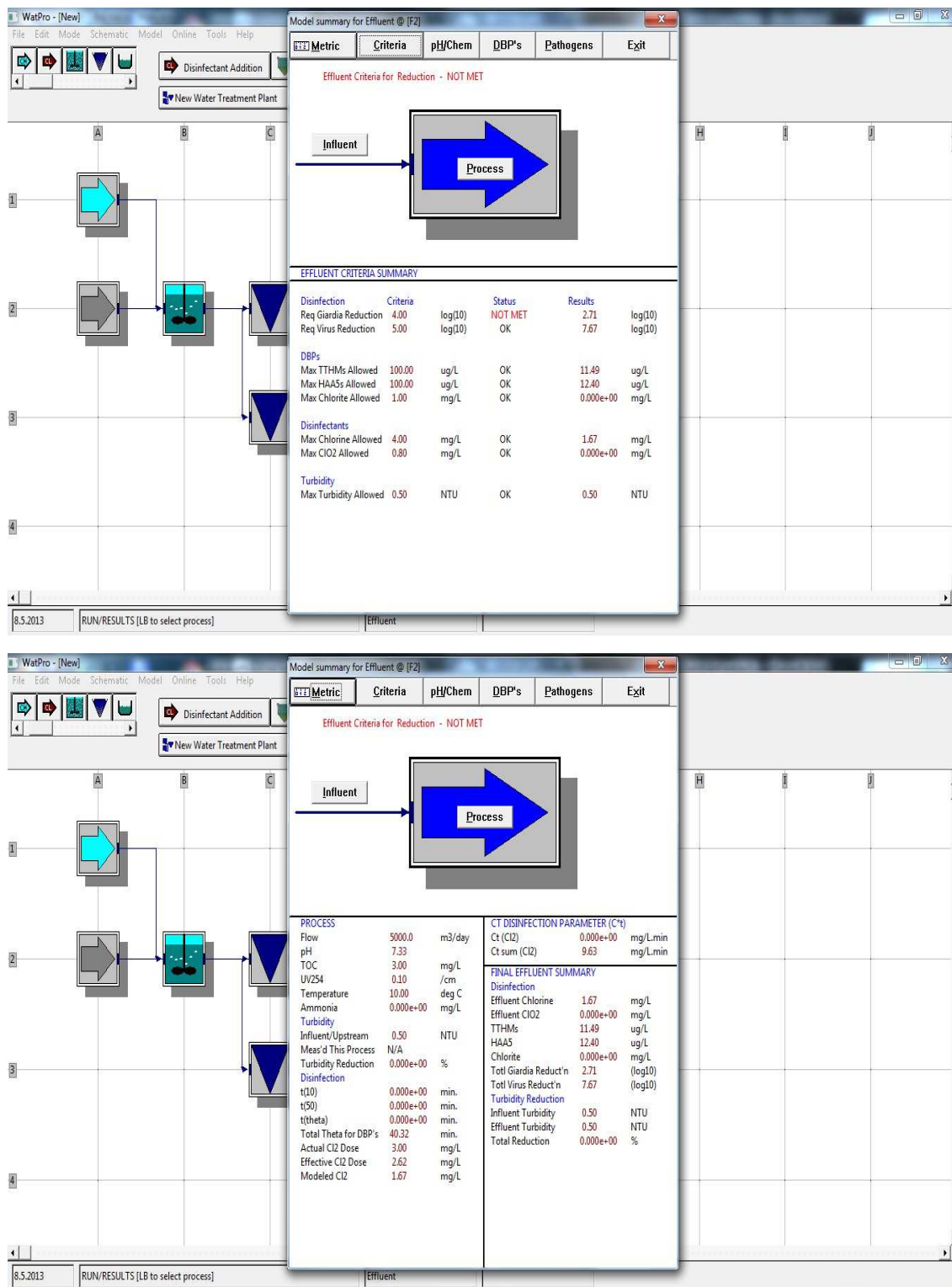
Druhým typem příkladu pro návrh úpravný vody je soustava skládající se ze stejných objektů a zařízení jako v prvním příkladu pouze v jiném pořadí:

- Přítok surové vody
- Přídavek chemikálií – v tomto případě je použit ze začátku Manganistan draselný – KmnO_4 (Potassium permanganate) o velikosti dávky 2 mg/l.
- Flokulace – (Flocculation)
- 2x Usazovací nádrž – (Settling basin)
- Filtrace – (Filtration)
- Přídavek dezinfekčního prostředku – v tomto případě je použit ze začátku plynný chlór - Cl_2 - (Chlorine) o velikosti dávky 2 mg/l.
- Kontaktní nádrž – (Contact tank)
- Konečná upravená voda – (Final treated water)



Obrázek 5-5: Navržená sestava úpravný vody – Vzorový příklad č.2

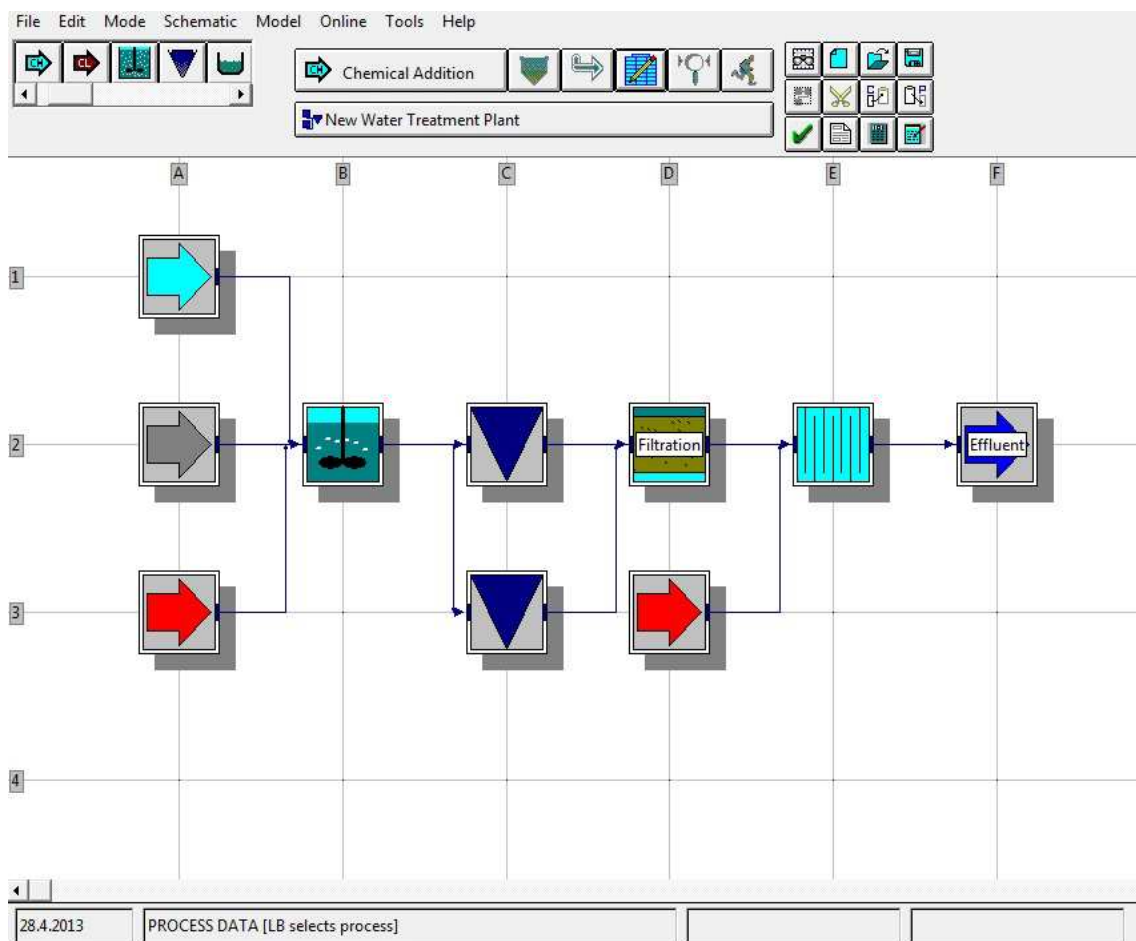
Tato varianta úpravy vody v programu WATPRO nesplňuje podmínky na odstranění dostatečného množství bakterií ve vodě ani při maximálních dovolených dávkách dezinfekčních a chemických přísadků.



Obrázek 5-6: Navržená sestava úpravy vody není vyhovující

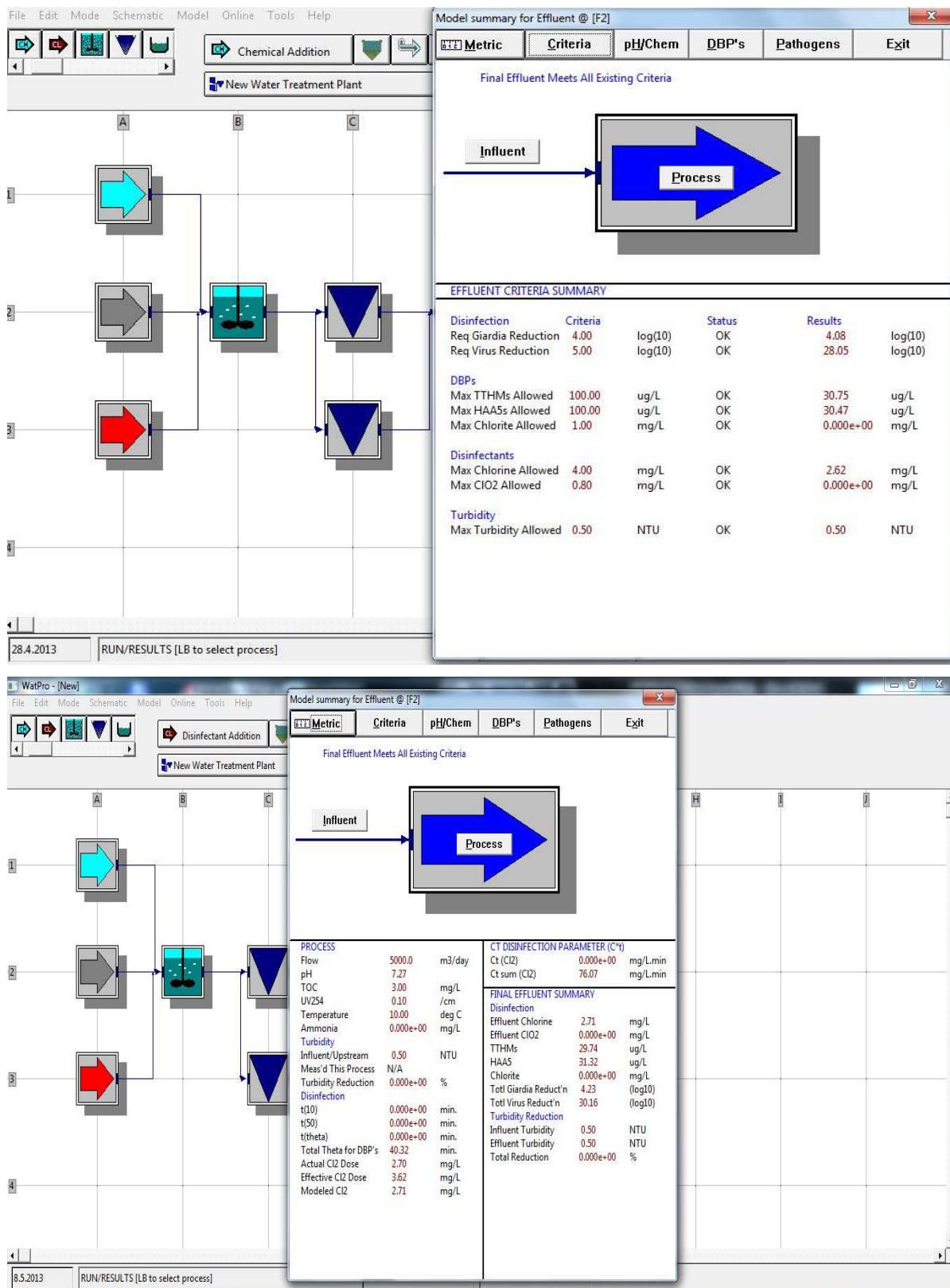
Třetí a poslední variantou je příklad, pro návrh úpravný vody, jedná se o soustavu skládající se ze stejných objektů a zařízení jako v prvním a druhém příkladě akorát v jiném pořadí a navíc je tu další přidavek dezinfekce:

- Přítok surové vody
- Přídavek chemikálií – v tomto případě je použit Manganistan draselný KmnO_4 (Potassium permanganate) o velikosti dávky 2 mg/l.
- Přídavek dezinfekčního prostředku – v tomto případě je použit chlornan sodný NaClO - o velikosti dávky 2,7 mg/l.
- Flokulace – (Flocculation)
- 2x Usazovací nádrž – (Settling basin)
- Filtrace – (Filtration)
- Přídavek dezinfekčního prostředku – v tomto případě je použit chlornan sodný NaClO - o velikosti dávky 2,7 mg/l.
- Kontaktní nádrž – (Contact tank)
- Konečná upravená voda – (Final treated water)



Obrázek 5-7: Navržená sestava úpravný vody – Vzorový příklad č.3

Tato navržená varianta úpravy vody v programu WATPRO splňuje všechny potřebné podmínky s následujícími výsledky:



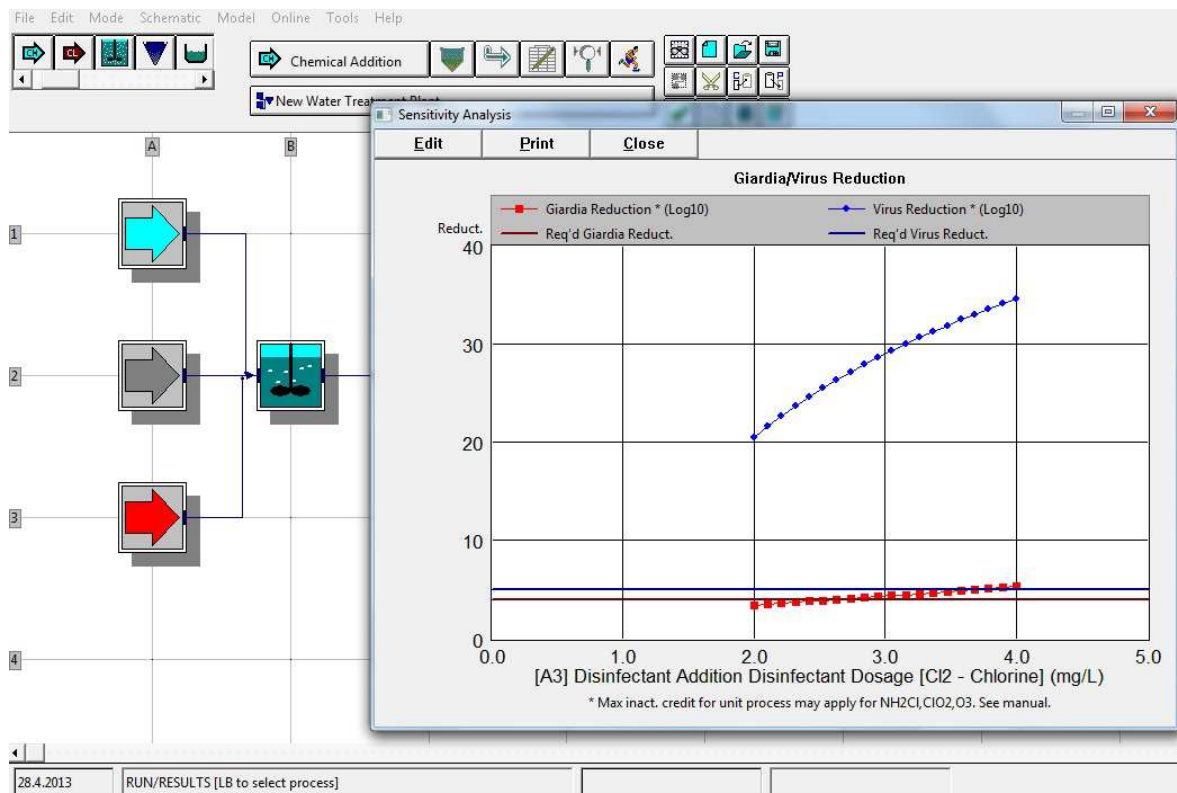
Obrázek 5-8: Velikost dávek dezinfekce a chemických přísadků je dostačující

Výsledné hodnoty varianty č.3:

- TOC - 3 mg/l
- UV254 – 0,1 l/cm
- TTHM – 30,75 $\mu\text{mol/l}$
- Turbidity – Zákal – 0,5 NTU
- pH – 7,59
- Disinfection – Req Giardia Reduction – 4,08 log(10)
- Disinfection – Req Virus Reduction – 28,05 log(10)

Z těchto tří navržených soustav úpraven vody podle sledovaných ukazatelů, je jako nejlepší varianta vzorový příklad č.1. Obsahující jeden dezinfekční a chemický přídatek.

Například pro hledání správné koncentrace daného dezinfekčního přídatku poskytuje WATPRO svým uživatelům užitečnou funkci „citlivostní analýzy“. Zde se zadá požadované zařízení nebo místo určené k dávkování chemikálií (např. dezinfekční přídatek) a poté je zapotřebí vybrat z použitých citlivostních parametrů (např. plynný chlór). Posledními parametry, které je nutné vyplnit před provedením analýzy, je horní a dolní koncentrace daného parametru a počet iteračních kroků.



Obrázek 5-9: Citlivostní analýza použitá u vzorového příkladu č.1

5.1.5 Zhodnocení programu

Cílem této kapitoly bylo přiblížit i na několika vzorových příkladech schopnosti programu WATPRO a zároveň poskytnout informace o dostupnosti a jeho původu. Po vypracování několika vzorových příkladů v tomto programu mohu soudit, že naučit se v něm pracovat je velice snadné. Jazyková lokalizace programu je sice v angličtině. Pracovní prostředí je intuitivní a od uživatele žádá pouze základní znalost angličtiny.

5.2 EPANET 2.0

5.2.1 Úvod k programu

Epanet patří mezi nejdůležitější programy určené pro návrh a posuzování vodovodních sítí a vodárenských objektů na trhu. Epanet byl vytvořen vládní agenturou U.S. EPA Risk Reduction Engineering Laboratory ze Spojených států amerických. Epanet je založen na výpočetních metodách Hybrid Loop-Node, Gradient Method, Minimum Degree Ordering, Lower Triangular Compact Storage. [49]

5.2.2 Dostupnost a systémové požadavky

Epanet byl v roce 2000 zpřístupněn pro širokou veřejnost a plná verze je zcela zdarma. Samotný program lze stáhnout na hlavních stránkách agentury U.S. EPA. V současnosti většina komerčních vodárenských softwarů využívá Epanetu prostřednictvím „Programmer toolkit“ (dynamické propojení knihovny). Epanet je veřejná softwarová doména, která může být libovolně kopírována. Rozšířenost tohoto programu potvrzuje i fakt, že se v dnešní době vyučuje na vysokých školách po celém světě práce v Epanetu. Kromě školství se používá i v praxi. Mezi hlavní hydraulické modelovací nástroje na bázi výpočetního modelu Epanet patří například: [11]

- Mike Urban
- WaterCAD
- Watdis
- H₂O NET
- InfoWater
- H₂O Map
- A další

Systémové požadavky programu Epanet nejsou nikterak náročné ba naopak program lze spustit v operačních systémech od Windows 95 počínaje až po Windows 8 konče. Je zde vyžadována instalace a prostor na disku o velikosti cca 3 MB.

5.2.3 Možnosti programu

Práce v programu Epanet je různorodá. K těmto pracím patří např. navrhování vodovodních sítí a vodárenských objektů na nich, simulování stárí vody v síti, sledování zbytkového chlóru ve vodě nebo sledování hladiny ve vodojemech.

Pracovní plocha programu Epanet je chytrě vyřešena. Není, zde totiž ihned po spuštění přílišná změť tabulek, jak tomu je dnes u jiných nových konkurenčních programů, což ocení

převážně uživatelé začínající s prací v těchto programech. Pro samotné navrhování trubních sítí je v hlavní panelu nahoře umístěno šest ikon. Pro prvky vyskytující se na trubních vodovodních sítích jsou:

- Uzly - (Junction)
- Nádrže, studny, čerpací jímky - (Reservoir)
- Vodojem - (Tank)
- Úsek potrubí - (Pipe)
- Čerpadlo - (Pump)
- Uzávěr - (Valve)

Před zahájením práce v Epanetu je nutné provést základní nastavení programu tak, aby vše odpovídalo zvyklostem uživatele a daného regionu. Příkladem jsou například nastavení, v jakých jednotkách se bude zobrazovat tlak či průtok (jednotky SI nebo jednotky US), podle jakých rovnic se budou provádět výpočty tření po délce (Chézy-Manning, Hazen-Williams, Darcy-Weisbach), a další. Všechny tyto údaje lze uložit tak, aby se při každém novém otevření programu nemuselo provádět opět stejné nastavení. Po provedení správného nastavení uživatel může začít s prací na navrženém modelu vodovodní sítě Epanet. Poté následuje hydraulický výpočet. Program poskytuje možnost sledování důležitých ukazatelů v uzlech nebo v úsecích vodovodní sítě a to i v závislosti na čase (po libovolně nastavených intervalech).

V uzlech se sledují tyto ukazatelé:

- Nadmožská výška [m n.m.] - (Elevation)
- Základní uzlový odběr - (Base demand)
- Kvalita vody na začátku období - (Initial Quality)
- Poloha tlakové čáry - (Head)
- Tlak - (Pressure)
- Kvalita vody - (Quality)

V úsecích se sledují tyto ukazatelé:

- Průměr potrubí - (Diameter)
- Délka potrubí - (Length)
- Drsnost potrubí - (Roughness)
- Průtok vody potrubím - (Flow)
- Rychlost vody v potrubí - (Velocity)
- Sklon tlakové čáry - (Unit Headloss)
- Kvalita vody - (Quality)

Epanet je dále schopen vytvářet systém automatického ovládání čerpadla s ohledem na výšku hladiny ve vodojemu. Další možností je nastavení čerpání čerpadla do vodojemu pomocí předem stanovených časových intervalů, ve kterých se čerpadlo zapíná a vypíná. K tomuto výpočtu je zapotřebí znát navrhované čerpadlo, jeho charakteristickou křivku a jeho

navrhovanou pracovní dobu za den. Dále jsou zapotřebí znát parametry vodojemu a také hodnotu odběru vody ze sítě.

Další ze schopností programu, která je i názorně zobrazena na vzorovém příkladu je funkce "Emitter". Emitters jsou zařízení, které jsou vázány k uzlům a provádí modelování proudění přes trysku, postřikovač nebo otvor v potrubí a vypouští vodu pryč do atmosféry. Průtok emitterem závisí na tlaku a je k dispozici na uzlu:

$$q = C \cdot p^\gamma \tag{5-2}$$

kde:

- q - průtok [l/s]
- C - výtokový součinitel [l.s⁻¹/m]
- γ - tlakový exponent [-]
- p - tlak [m v.sl.]

Při výpočtu emitterů v samotném Epanetu je po uživateli žádáno pouze zadání dvou hodnot. První hodnota se nastavuje přes hlavní menu:

Project → Defaults → Hydraulics → → Emitter exponent - hodnota tohoto exponentu se doporučuje 0,5, avšak jedná-li se o výtok vody tryskami nebo sprchovými hlaviciemi je tato hodnota dána už od výrobce, buď v jednotkách [l.s⁻¹/m], nebo v jednotkách [gpm/psi]. Druhá hodnota se zadává v samotných uzlech a nazývá se "emitter coeff.". V překladu se jedná o výtokový součinitel a ten je závislý dle tvaru otvoru:

Tabulka 5-1: Hodnoty součinitele výtoku podle tvaru otvoru [30]

| | tvar otvoru | μ |
|----|--|--------------|
| 1. | malé otvory s dokonalým zúžením (φ = 0,97, ε = 0,64) | 0,62 |
| 2. | malé otvory s nedokonalým všestranným zúžením (plocha otvoru je menší než 1/10 plochy stěny v níž je otvor umístěn): | |
| | - malé kruhové otvory těsně u stěn - malé čtvercové otvory se zúžením ze 3 stran | 0,63 0,64 |
| 3. | malé obdélníkové otvory s poměrem stran 1:2 s částečným zúžením: | |
| | - zúžení z jedné, a to delší strany - zúžení z jedné, a to kratší strany | 0,64 0,65 |
| 4. | otvory středních rozměrů s všestranným zúžením | 0,65 |
| 5. | velké otvory s všestranným zúžením | 0,70 |
| 6. | otvory u dna (výtok pod stavidlem) s podstatným bočním zúžením | 0,70 |
| 7. | otvory u dna s průměrným bočním zúžením | 0,75 |
| 8. | otvory u dna s plynulým usměrněním proudu | 0,80 |
| 9. | hodnoty v 6. až 8. skupině platí pro výtok ve svislé stěně, je-li stěna odkloněna od svislice o úhel 30 °, zvětší se uvedené hodnoty o 15% | |

Epanet Programmer toolkit (dynamické knihovně (DLL)) umožňuje vývojářům přizpůsobit Epanet dle vlastních potřeb a umožňuje přidat své vlastní nové inovace k vytvoření nového softwaru. Jak již je psáno výše, mnoho společností při vývoji nových programů vycházelo ze základů, které přinesla společnost U.S. EPA se svým programem Epanet. Avšak už se našlo i několik jednotlivců, kteří vytváří doprovodné funkce k tomuto programu tak, aby práce v Epanetu byla co nejvíce ulehčena. Jedním z těchto lidí je i Oliver Diáz, který naprogramoval šikovný program v MS Excelu pro export bodů do Epanet. V MS Excelu se zadá pouze libovolný počet hodnot souřadnic X, Y a Z. Přičemž souřadnicí "Z" se rozumí nadmořská výška v [m n.m.]. A poté již stačí vyexportovat hodnoty z MS Excelu do formát .INP (což je standardní formát pro export a import souborů v programu Epanet). [12] Tento postup je výhodný zejména u rozsáhlých městských vodovodních sítích, kdy je potřeba vynést velké množství uzlů. Avšak kromě možnosti vyexportovat soubor do Epanetu je tu možnost i vyexportovat souřadnice do CAD souboru ve formát .DXF a to buď jako samostatné body, nebo jako spojenou čáru v daném pořadí souřadnic a nebo jako podélný profil. Je-li výkres vytvořen v programu AutoCAD a je potřeba ho vyexportovat do Epanetu, stačí tento výkres vyexportovat jako metasoubor .WMF a v programu Epanet ho načíst přes: --> View --> Backdrop --> Load --> a poté nalézt samotný soubor. Výkres se poté na pracovní ploše Epanetu zobrazí jako obrázek v pozadí.

5.2.4 Výpočet vzorového příkladu

V této části práce je představen vzorový příklad, na kterém je ukázána jedna z funkcí programu Epanet. Na tomto příkladu je na jednoduchém vzorovém úseku trubní sítě ukázána účel funkce "emitter". V tomto případě se jedná o výpočet úniku vody z důsledku netěsnosti v potrubí na úseku za pomoci Epanetu. V závěru se provede srovnání s výpočtem na papír, aby se zjistilo, jestli se jedná o velký rozdíl výsledků.

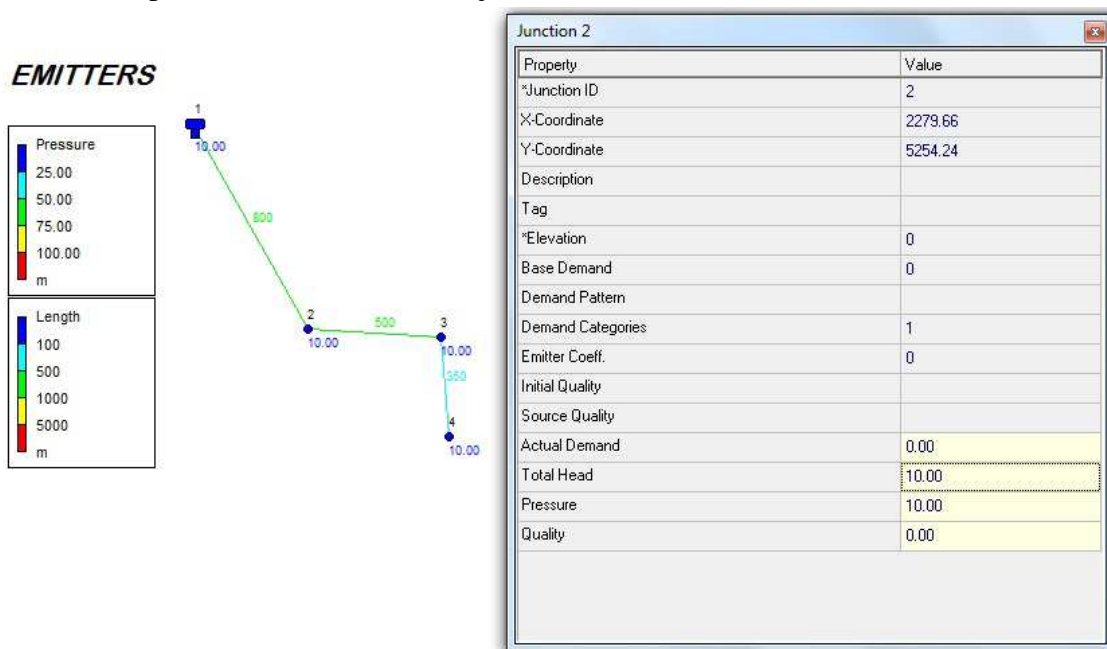
V první fázi se sestaví v Epanetu jednoduchá vodovodní síť zahrnující zemní vodojem a tři trubní úseky bez žádných odběrů vody na síti.

| Property | Value |
|-------------------|---------|
| *Junction ID | 2 |
| X-Coordinate | 2279.66 |
| Y-Coordinate | 5254.24 |
| Description | |
| Tag | |
| *Elevation | 0 |
| Base Demand | 0 |
| Demand Pattern | |
| Demand Categories | 1 |
| Emitter Coeff. | 0 |
| Initial Quality | |
| Source Quality | |
| Actual Demand | 0.00 |
| Total Head | 10.00 |
| Pressure | 10.00 |
| Quality | 0.00 |

Obrázek 5-10: Vodojem má následující parametry

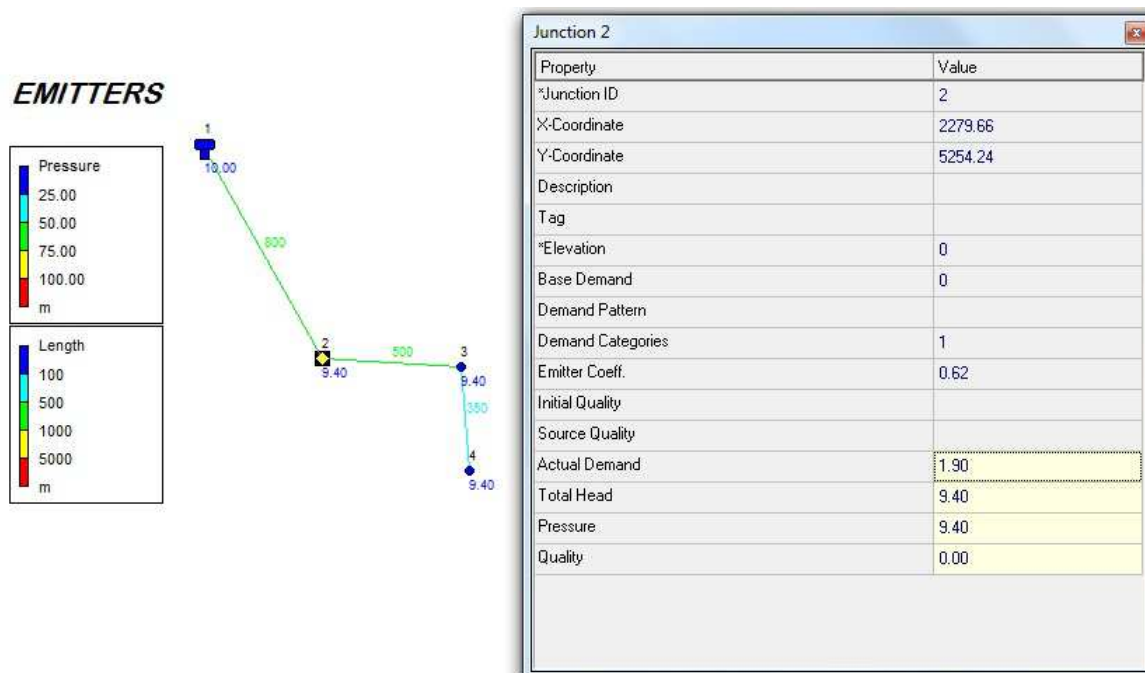
Trubní síť je rozdělena na tři úseky a má následující parametry:

- Rozměry jednotlivých úseků jsou 800, 500, 350 m
- Drsnostní součinitel potrubí je stanoven dle materiálu litinového potrubí s následující hodnotou - $n = 0,014$.
- Průměr potrubí ve vodovodní síti je DN 100 [mm]



Obrázek 5-11: Stav potrubí v uzlech za normálních okolností v nepoškozeném stavu.

Při výpočtu samotných ztrát na potrubí v důsledku netěsností v potrubí (emitters), je nutné přes hlavní menu, zadat hodnotu emitter exponent: Project → Defaults → Hydraulics → Emitter exponent - hodnota tohoto exponentu se doporučuje 0,5. Dále je potřeba určit hodnotu výtokového součinitele, který charakterizuje otvor při netěsnosti potrubí. V tomto příkladu je zvolena hodnota 0,62 pro malý otvor se zúžením. V Epanetu je tato hodnota nazývána jako emitter coefficient. Tato hodnota emitter coefficient je zadána v uzlu s označením "2", následně je provedeno vyhodnocení vodovodní sítě i s vlivem netěsnosti v potrubí. Po vyhodnocení jsou sledovány zejména hodnoty „Total Head“ (nadmožská výška ve vodojemu + tlaková výška) a hodnota „Actual Demand“ (je to hodnota udávající velikost průtoku vody emitters v [l/s] a zároveň zahrnuje i potřebu vody z odběrů na síti – pozn. V této síti nejsou žádné odběry)



Obrázek 5-12: Hydraulická analýza potrubí se zohledněnou netěsností v potrubí

V další části je proveden „ruční“ výpočet odtoku vody z netěsností potrubí (emitterů), za pomoci následujícího vzorce.

Vzorec:

$$q = C \cdot p^\gamma \quad (5-3)$$

kde:

| | |
|-------------------------|------------------------|
| q - průtok | [l/s] |
| C - výtokový součinitel | [l.s ⁻¹ /m] |
| γ - tlakový exponent | [-] |
| p - tlak | [m v. sl.] |

p = 9,4 m v. sl.

γ = 0,5 l.s⁻¹/m

C = 0,62 -

q = 1,901 l/s

5.2.5 Zhodnocení programu

Cílem této kapitoly bylo přiblížení programu Epanet i na vzorovém příkladu, na kterém jsou ukázány některé užitečné schopnosti programu. Pracovní prostředí programu Epanet je přehledné a není vůbec přehluštěné množstvím tabulek nebo ikon, jak tomu bývá u některých programů. V souhrnu je-li vzato, že tento program byl uvolněn do světa v roce 2000, tak i v současné době se dá říct, že jde prakticky o jedinečný program, který není třeba již moc vylepšovat.

5.3 WATDIS

5.3.1 Úvod k programu

Watdis je program, který byl vytvořen kolumbijskou společností Transparent Blue S.A.S. se sídlem v Bogotě. Jazyková lokalizace programu je provedena ve dvou jazycích anglickém a španělském. Tento program je založen na stejném výpočtovém jádru jako program Epanet. Watdis patří k řadě programů pro navrhování vodovodních sítí a vodárenských objektů. V souhrnu se jedná o něco vylepšenou verzi programu Epanet.

5.3.2 Dostupnost a systémové požadavky

Watdis je softwarový prostředek, který je možné získat zcela zdarma z hlavních stránek společnosti Transparent Blue S.A.S. nebo i ze stránek samotného programu. Podle tvůrců programu ještě není zcela hotový a ještě plánují vydání několika verzí.

Hardwarové požadavky na program Watdis jsou následující:

- Processor: 1.4 Ghz or higher
- RAM: 256 MB (512 MB or higher recommended)
- Video: 32 MB
- HDD: 50 MB
- Dále je potřeba dalších 100 MB na stáhnutí instalačního programu z hlavních stránek

Softwarové požadavky na program Watdis jsou následující:

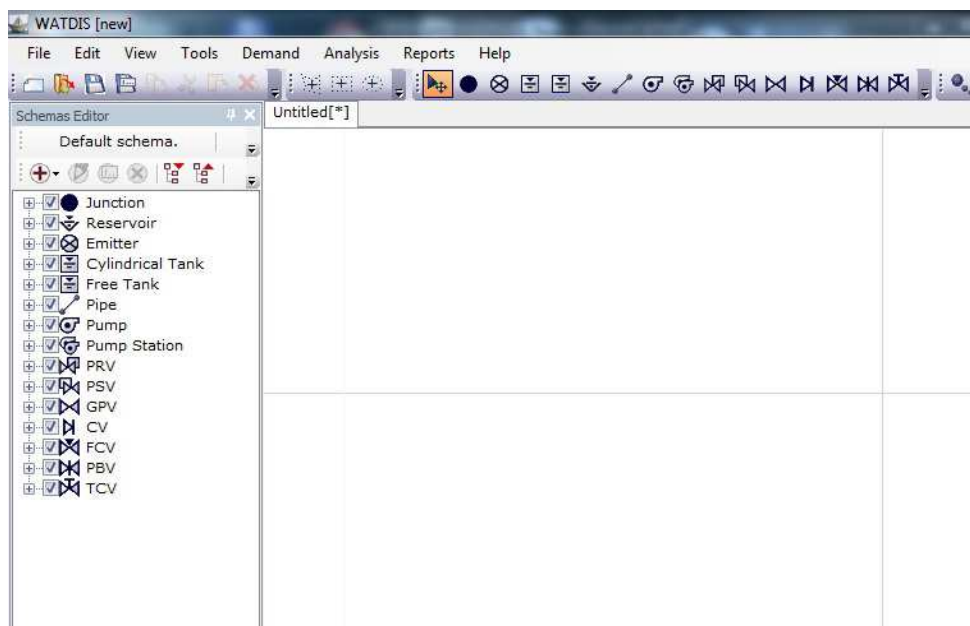
- Microsoft .NET Framework 2.0
- Microsoft DirectX 9.0c Junio 2007

Požadavky na operační systém nejsou nijak limitovány. Watdis pracuje i v nejnovějších operačních systémech (Windows XP až dokonce i Windows 8).

5.3.3 Možnosti programu

Program Watdis byl vytvořen za účelem inovace již dlouho neaktualizovaného programu Epanet. A klade si za cíl odstranit všechny nedostatky, na které uživatelé tohoto programu za několik let fungování přišli. Výpočetní a jiné funkce programu Watdis jsou vesměs stejné jako u programu Epanet. Avšak ihned po prvním spuštění je vidět, že k několika rozdílům došlo. Nachází se zde na levé straně jednotlivé prvky, které je možné vykreslit na síti. Na pravé straně pracovní plochy je tabulka se základním popisem označeného uzlu, úseku či jiného prvku (průtok, výška tlakové čary atd.) V hlavním menu je nachází celkem 13 prvků (objektů, armatur, zařízení atd.). Jsou to následující prvky:

- Uzel - (Junction)
- Úsek potrubí - (Pipe)
- Výtokové zařízení, otvor - (Emitter)
- Válcový vodojem - (Cylindrical Tank)
- Čerpadlo - (Pump)
- Čerpací stanice - (Pump station)
- Redukční ventil - (Pressure Reducing Valve)
- Ventil na udržení tlaku - (Pressure Sustaining Valve)
- Univerzální ventil - (General Purpose Ventil)
- Zpětný ventil - (Check Valve)
- Šoupátko - (Flow Control Valve)
- Pojistný ventil - (Pressure Breaker Valve)



Obrázek 5-13: Pracovní plocha programu Watdis se zmiňovanými prvky

Mezi nejvýznamnější rysy programu Watdis patří:

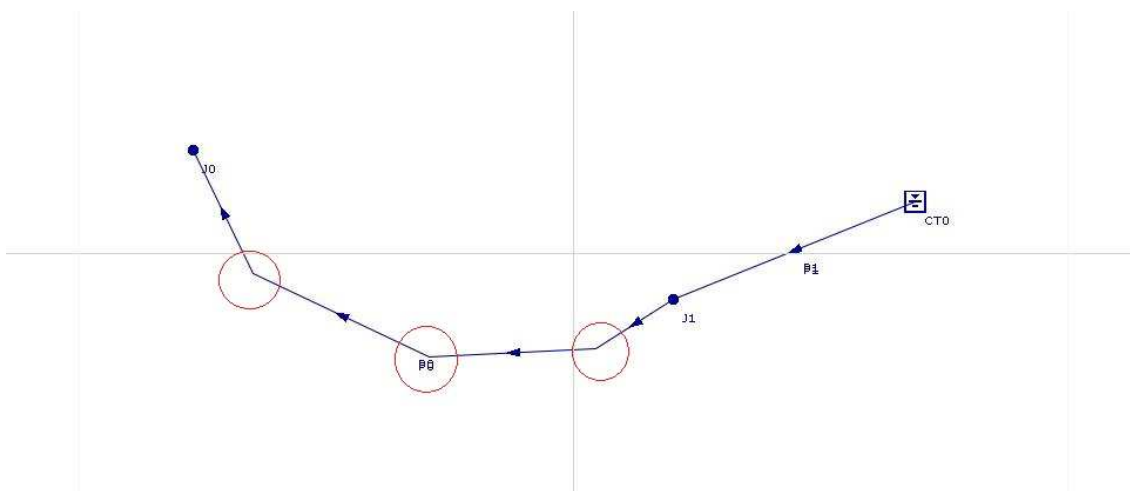
- Modelování čerpadel - a jejich modelování QH křivek charakteristik čerpadel za pomoci polynomického modelování křivky ze tří bodů.
- Modelování časových modelů pro delší období simulací
- Modelování trubních sítí za využití tří různých typů výpočtových vzorců pro ztráty třením po délce: [22]
 - Hazen-Williams
 - Darcy-Weisbach
 - Chezy-Mannig

Emittery neboli výtoky vody postřikovačem, tryskami nebo otvory v potrubí, lze navrhnout také v programu Watdis. Oproti konkurenčnímu Epanetu emittery nejsou vázány na uzle, ale jsou to samostatné prvky, kterých lze mezi uzly umístit i více a fungovat tak třeba jako více netěsností na jednom úseku potrubí. Emittery jsou závislé na tlaku kapaliny v potrubí a výpočet v programu Watdis probíhá obdobně jako u programu Epanet blíže popsáno v kapitole 5.2.3.

Program Watdis je uživatelsky velice přívětivý a má i některé drobné výhody oproti konkurenčním programům. Například umožňuje:

- Pohyb v pracovním prostředí i za pomoci kolečka myši
- Umožňuje dodatečné vkládání uzlů do již vytvořené vodovodní sítě
- Při vytváření trubní sítě se potrubí samo navádí k blízkému uzlu
- Kvalitní grafické rozhraní, s výrazným barevným odlišením prvků
- Watdis je kompatibilní s programem Epanet - jeho soubor pro export a import má stejnou příponu jako Epanet a to .INP.
- Velkou výhodou pro začátečníky u tohoto programu je všudypřítomná tabulka v pravém dolním rohu určená pro vysvětlující informace
- V situacích, kdy je potřeba opravit některé poslední kroky, které uživatel provedl, lze použít známé klávesové zkratky CTRL + Z, známé z mnoha jiných programů. (MS Office, AutoCAD atd.). Tato funkce například nelze využít v konkurenčním programu Epanet. [22]

Další výhodou při tvorbě vodovodních sítí například ve městech, kde je zaoblená silnice, tak Watdis poskytuje možnost použít funkce zalamování potrubí bez nutnosti vytváření nových uzlů, tedy v případě, že v daném místě není žádný odběr vody. Tato funkce se jednoduše aktivuje při vynášení trubní sítě, kliknutím pravého tlačítka myši.



Obrázek 5-14: Vzorový příklad zalamování trasy bez nutnosti vkládání uzlů – červeně jsou označeny body zalamování

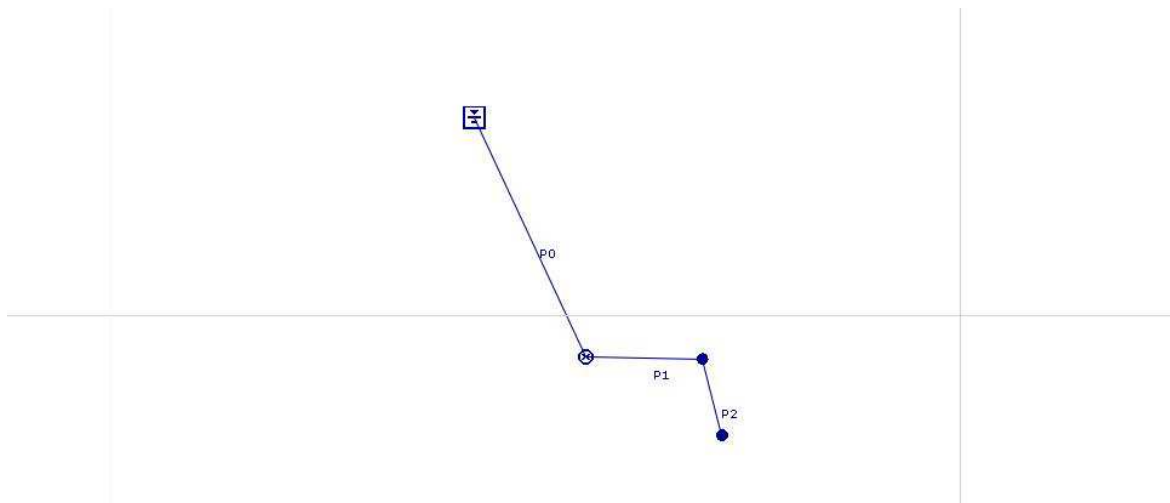
5.3.4 Výpočet vzorového příkladu

Ukázkovým vzorovým příkladem v programu Watdis, na kterém jsou ukázány některé schopnosti programu je vybrána funkce pro výpočet emitterů (neboli výpočet výtoku vody z potrubí vlivem netěsností nebo se může jednat o výtok vody z postřikovačů a trysek, avšak v tomto vzorovém příkladu se jedná o netěsnost v potrubí). Jedná se o úplně totožný vzorový příklad, jaký byl řešen v kapitole 5.2.4. u programu Epanet. Cílem je tedy nejen ukázat schopnosti programu Watdis, ale zároveň srovnat výsledek s výsledkem v konkurenčním programu.

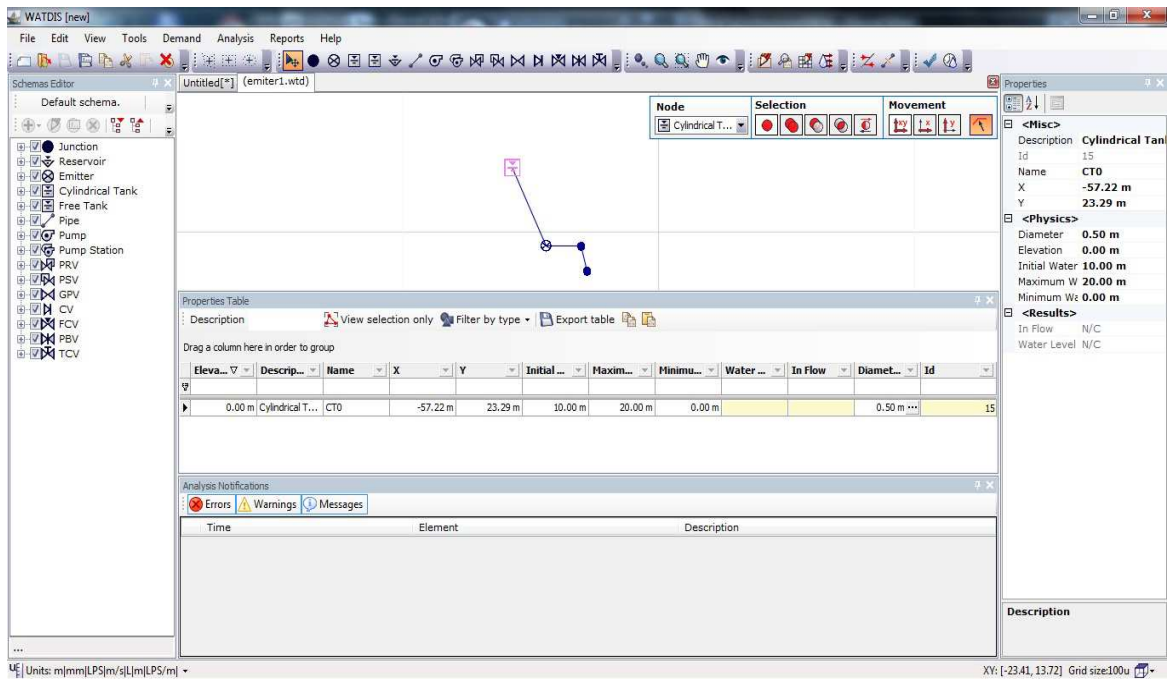
V první části výpočtu je navržen vzorový příklad vodovodní sítě. Jedná se o stejný příklad jako v kapitole 5.2.4., který se počítal v programu Epanet. Síť tedy zahrnuje následující objekty. Vodojem, tři trubní úseky a dva uzly na trase. Na navržené síti neprobíhá žádný odběr vody.

Trubní síť, která je rozdělena na tři úseky a má následující parametry:

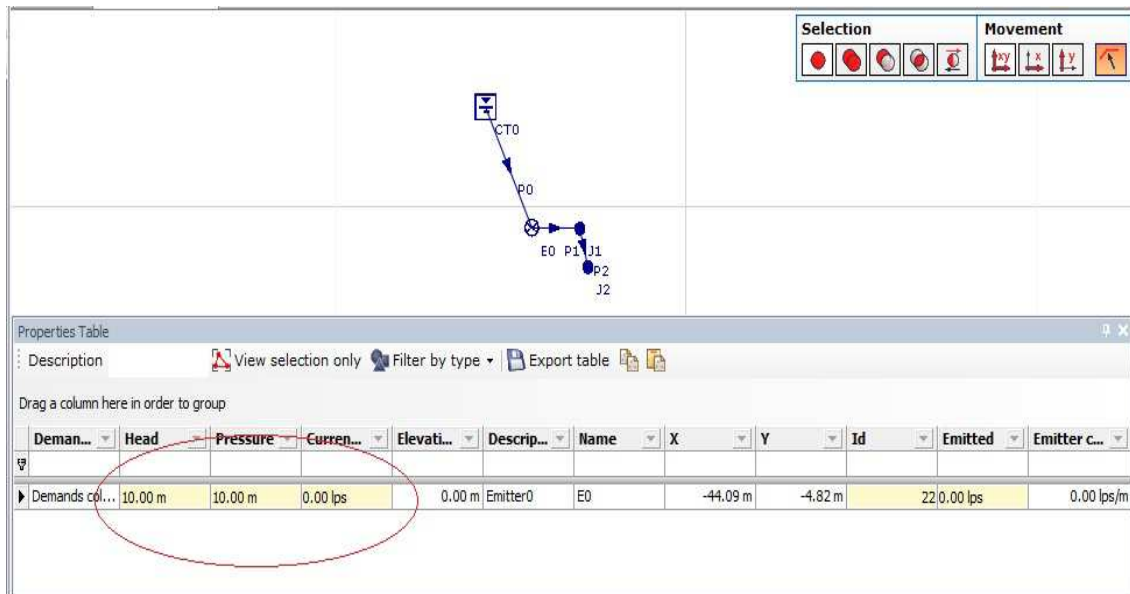
- Rozměry jednotlivých úseků jsou 800, 500, 350 m
- Drsnostní součinitel potrubí je stanoven dle materiálu litinového potrubí s následující hodnotou - $n = 0,014$.
- Průměr potrubí ve vodovodní síti je DN 100 [mm]



Obrázek 5-15: Vzorový příklad vodovodní sítě

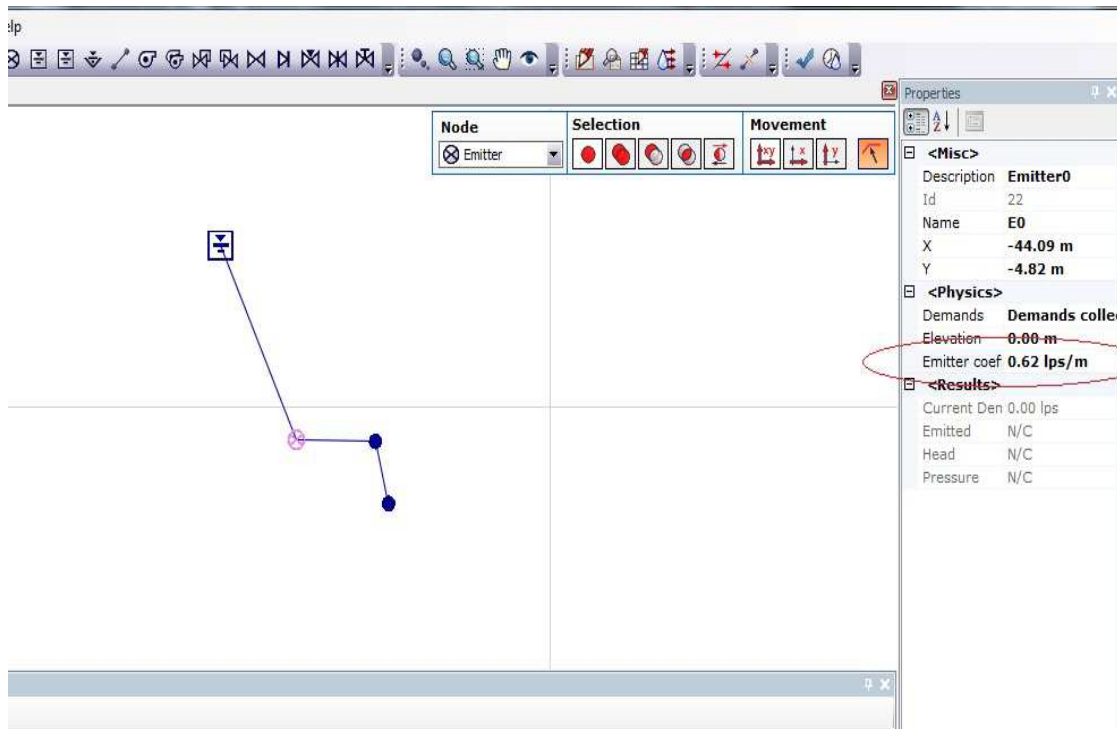


Obrázek 5-16: Návrhové hodnoty vodojemu



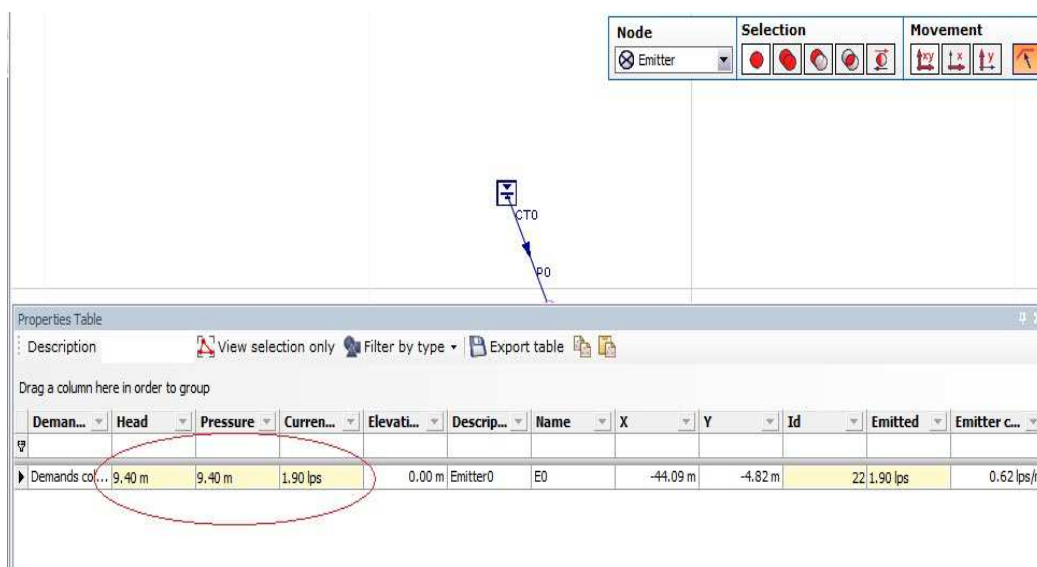
Obrázek 5-17: Stav na vodovodní síti v uzlech při dobré těsnosti potrubí

V dalším pokračování příkladu se uvažuje s únikem vody vlivem netěsnosti, hned v prvním uzlu při odtoku vody z vodojemu. Je potřeba zadat hodnotu výtokového součinitele. V tomto příkladu se uvažuje hodnota výtokového součinitele 0,62 (emitter coefficient). Tuto hodnotu je potřeba zadat v nastavení jednotlivých emitterů. K nastavení emitterů lze dojít buď přes: Tools → Properties → Physics → Emitter coefficient, nebo postačí pouze označit emitter a pak → Physics → Emitter coefficient. Zde je potřeba si zvolit zda udávaná jednotka je v (LPS/m) nebo (CFS/psi), v tomto příkladu se počítá s (LPS/m).



Obrázek 5-18: Zadaný výtokový součinitel

Po dokončení všech nastavení se provede hydraulická simulace v navržené vodovodní síti. V místě úniku vody z netěsnosti potrubí se sledují hodnoty „Head“ (nadmožská výška ve vodojemu + tlaková výška) a hodnota „Emitted“ (tato hodnota udává množství unikající vody emittersy v [l/s] a zároveň zahrnuje i potřebu vody z odběrů na síti – pozn. v této síti nejsou žádné odběry)



Obrázek 5-19: Hodnoty v emitterech po provedené hydraulické analýze

Dalším cílem výpočtu je srovnat výsledek úniku vody z potrubí, které vypočítal program Watdis s výpočtem provedeným podle následujícího vzorce (5-2).

Vzorec:

$$q = C \cdot p^\gamma \quad (5-4)$$

kde:

- q - průtok [l/s]
- C - výtokový součinitel [l.s⁻¹/m]
- γ - tlakový exponent [-]
- p - tlak [m v. sl.]

- p = 9,4 m v. sl.
- γ = 0,5 l.s⁻¹/m
- C = 0,62 -

$$\mathbf{q = 1,901 \quad l/s}$$

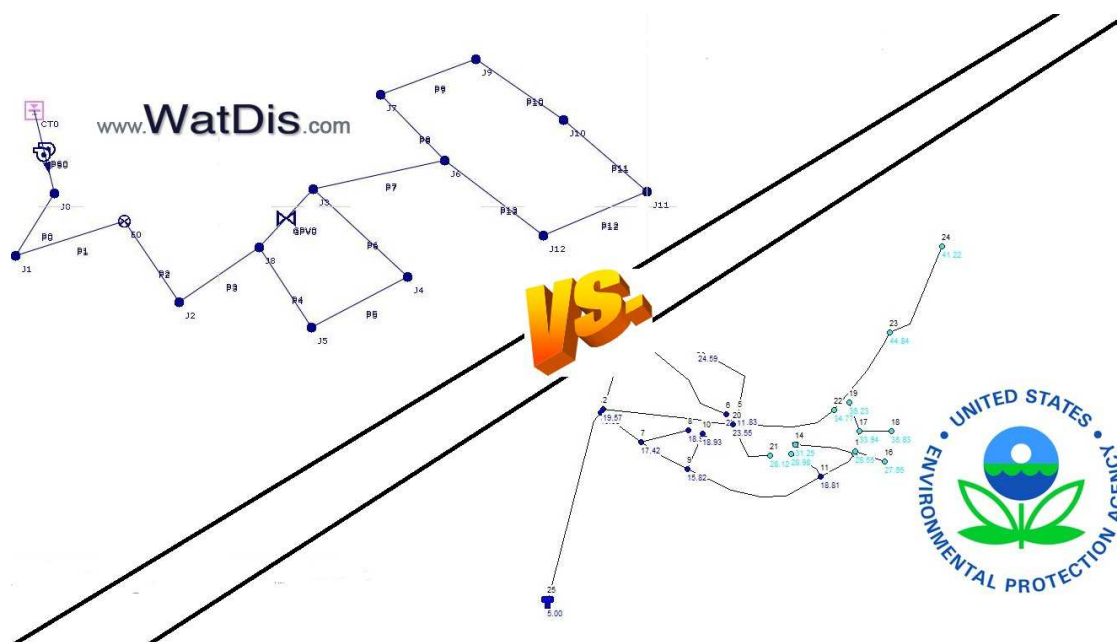
Po provedených výpočtech vyplývá, že výsledek výpočtu podle programu Watdis a výpočet podle rovnice je stejný. Zároveň, když se provede srovnání výpočtů v programu Watdis a programu Epanet, tak vyplývá, že tyto programy pracují na stejném výpočetním modelu, výsledky se totiž nijak neliší.

5.3.5 Zhodnocení programu

Cílem této kapitoly bylo přiblížit program Watdis jakožto konkurenční program daleko známějšího Epanetu. Watdis je programem s velice přívětivým pracovním prostředím. Ve kterém je snadné se zorientovat a to hlavně díky tomu, že u každé funkce či volného řádku je napsáno v pravém dolním rohu vysvětlení, co je potřeba vyplnit nebo co se požaduje od uživatele, což je výhodné zejména pro začátečníky pracující s těmito simulačními softwary.

5.4 SROVNÁNÍ PROGRAMŮ WATDIS A EPANET 2.0

V této kapitole jsou srovnány dva skoro totožné programy Watdis a Epanet 2.0. Oba tyto programy jsou určeny pro statickou a kvazi-dynamickou simulaci hydraulických poměrů v tlakových trubních sítích. Výpočtové jádro obou programů je stejné, poněvadž Watdis vychází z modelu, který Epanet vydal již v roce 2000. Jedním z rozdílů programu Watdis oproti programu Epanet je grafická úprava a přidání některých modulů například pro import souborů. Po vypracování vzorových příkladů v obou programech jsem zjistil, že rozdíly mezi těmito programy jsou nepatrné. Například program Watdis bych doporučil určitě začátečníkům, protože je zde ke každé funkci nebo řádku doprovodný komentář, co se po uživateli požaduje, což například v programu Epanet velice chybí. Nevýhodou však je, že program Watdis ještě není úplně kompletní. Jednou z výhod, které jsem vyzkoušel u programu Epanet, je rychlejší práce oproti programu Watdis. Epanet má kratší odezvu při práci i načítání samotného programu a hlavně je tento program daleko známější a rozšířenější. V souhrnu ani po vypracování vzorových příkladů nemohu s určitostí říci, který z těchto programů je lepší, každý z nich má své výhody i nevýhody. Ale mě osobně je program Epanet bližší, protože s ním pracuji už delší čas než s programem Watdis.



Obrázek 5-20: Srovnání programu Watdis a programu Epanet 2.0

6 ZÁVĚR

Obsah této práce je rozdělen do čtyř základních kapitol, které jsou zaměřené na oblast softwarových prostředků pro návrh vodárenských objektů nebo vodovodních sítí. V první kapitole jsou popsány některé základní definice a pojmy, týkající se oblasti matematického modelování a hydraulické analýzy.

Druhá kapitola se týká přehledu sedmnácti vybraných programů s popisem jejich základních informací o možnostech, původu a dostupnosti jednotlivých programů. U každého z nich je zároveň i ukázka pracovní plochy s logem programu. Ve třetí kapitole jsou programy rozdělené do čtyř základních skupin podle schopností jednotlivých programů. Mezi tato základní rozdělení patří následující podkapitoly. Za prvé, problematika jakosti vody ve, které se sledují některé ukazatele (zákal, TOC, vedlejší produkty dezinfekce a další). Tato část se týká šesti programů.

Za druhé jsou programy na provádění hydraulických analýz, zde jsou na deseti programech přiblíženy výpočty hydrauliky vody v potrubí nebo na objektech (tlak, průtok, rychlosti atd.). Za třetí jsou to programy sloužící k projektování vodovodních sítí a kanalizací. V této práci jsou uvedeny čtyři programy. Tyto programy se skládají z několika modulů, každý z nich je určen pro jiný typ výkresů. Jsou určeny především na rýsování kladečských schémat, situací, podélných profilů aj.

Poslední čtvrtou podkapitolou jsou programy určené k vypracovávání simulačních modulů. Jedná se o experimentální programy, které jsou zde krátce přiblíženy na čtyřech vybraných programech. Ve čtvrté kapitole jsou vybrány tři programy, na kterých jsou vypracovány vzorové příklady. U každého z nich je vypracován krátký úvod, dále pak jejich dostupnost a systémové požadavky. Jsou zde také více rozepsány výhody a nevýhody těchto programů. Ke každému z programů je poté vypracován vzorový příklad a nakonec celkové zhodnocení programu jako takového a práce v něm. Prvním programem je Watpro, na kterém je vypočítán vzorový příklad, týkající se návrhu úpravny vody s hledáním ideálního řešení dávek chemických přísad nebo dezinfekcí. Dalšími programy jsou Epanet 2.0 a Watdis. Jedná se o typově stejné programy, a proto se na nich provedl stejný výpočet úniku vody z potrubí vlivem netěsnosti. Následně se provedlo srovnání těchto dvou programů, čímž se zjistilo, že oba tyto programy jsou si velice podobné a pracují i na stejném výpočetním modelu. Rozdíl je, že program Watdis je novější než program Epanet, ze kterého vychází. Avšak rozdíly jsou minimální, jedná se o rozdíly v ulehčení a zkrácení práce s programem.

Tato bakalářská práce si klade za cíl seznámit potenciální uživatele (z řad projektantů, správců vodovodní sítě a studentů) s přehledem několika programů zabývajících se problematikou navrhování vodárenských objektů a vodovodních sítí. A poskytnout jim informace při výběru nebo orientaci mezi nimi. Ať je tím rozhodujícím faktorem schopnost programu či ekonomické hledisko.

7 LITERATURA A POUŽITÉ ZDROJE

- [1] TUHOVČÁK, L.; ADLER, P.; KUČERA, T.; RACLAVSKÝ, J.: *Vodárenství*. Studijní opora pro studijní programy s kombinovanou formou studia. Brno: VUT v Brně, 2006. s. 1-223.
- [2] TUHOVČÁK, L.; KUČERA, T.: BP03 – *Vodárenství*. Brno: VUT Brno, FAST, Ústav vodního hospodářství obcí, 2012. Přednáška
- [3] ČÁBELKA, J.; GABRIEL, P.: *Matematické a fyzikální modelování v hydrotechnice*. 1. Praha: Československá akademie věd, 1987. 304 s.
- [4] INDGEDULD, P.; VYČÍTAL, J.: *Matematické modelování vodovodních sítí II*. SOVAK. 1999, č.04 [cit. 2013-05-09].
Dostupné z <<http://www.mzp.cz/ris/ais-ris-info-copy.nsf/da28f37425da72f7c12569e600723950/f684f6056e6a67ebc1256a32002243c6?OpenDocument>>.
- [5] INDGEDULD, P.; VYČÍTAL, J.: *Matematické modelování vodovodních sítí IV*. SOVAK. 1999, č.07-08 [cit. 2013-05-09].
Dostupné z <<http://www.mzp.cz/ris/ais-ris-info-copy.nsf/4d735ff9c7e64b58c12569e7001a2d9c/cbf65632f2e0467dc1256a340023e654?OpenDocument>>.
- [6] AQUAVARRA RESEARCH LIMITED: *Program ARTS* [online]. Dublin. 2013 [cit. 2013-05-09]. Dostupné z <<http://www.aquavarra.ie/arts/download.html>>.
- [7] 7-Technologies: *Program Aquis Operation - Description of functionalities in AQUIS Water Network Management and Leak Detection System* [online]. Německo. 2013 [cit. 2013-05-09]. Dostupné z:
<<http://aquis.s3.amazonaws.com/Collateral/AQUIS%20%20WHITE%20PAPER.pdf>>.
- [8] BUCEK, L.: *Program Autopen* [online]. Liberec. 2013 [cit. 2013-05-09].
Dostupné z: <<http://www.autopen.net/>>.
- [9] AUTODESK: *Program AutoCAD simulation CFD* [online]. Charlottesville. 2013 [cit. 2013-05-09]. Dostupné z: <<http://www.autodesk.com/products/autodesk-simulation-family/features/simulation-cfd>>.
- [10] COMSOL: *Program Comsol* [online]. Stockholm. 2013 [cit. 2013-05-09].
Dostupné z: <<http://www.comsol.com/products/pipe-flow/?tab=products>>.
- [11] EPA U. S.: *Program Epanet* [online]. USA. 2013 [cit. 2013-05-09].
Dostupné z: <<http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/dw/epanet.html>>.
- [12] DIAZ, O.: *Excel to Epanet* [online]. 2013 [cit. 2013-05-09]. Dostupné z:
<<http://www.water-simulation.com/wsp/2009/11/03/excel-to-epanet/>>.

- [13] SLAVÍČKOVÁ, K.: *Změny kvality vody při dopravě a jejich modelování v programu Epanet 2* [online]. Praha 6. 2013 [cit. 2013-05-09].
Dostupné z: <<http://www.smv.cz/res/data/014/001643.pdf>>.
- [14] FLOW SCIENCE: *Program Flow 3d* [online]. Los Alamos. 2013.[cit. 2013-05-09].
Dostupné z: <<http://www.flow3d.com/flow3d/flow3d-overview.html>>.
- [15] ANSYS: *Program Fluent* [online]. Canonsburg. 2013. [cit. 2013-05-09].
Dostupné z: <<http://www.ansys.com/About+ANSYS>>.
- [16] AUTODESK: *Program HydraulCAD* [online]. Vancouver. 2013. [cit. 2013-05-09].
Dostupné z: <<http://hydraulicad.com/>>.
- [17] DHI: *Program Mike Urban* [online]. Praha 10. 2013. [cit. 2013-05-09].
Dostupné z: <http://www.dhi.cz/MIKEByDHI/Urban_CZ/MIKE_URBAN_CZ.aspx>.
- [18] DHI: *Program Mike Urban* [online]. Dánsko. 2013. [cit. 2013-05-09]. Dostupné z:
<<http://www.dhisoftware.com/Products/Cities/MIKEURBAN/WaterDistribution.aspx>>.
- [19] WOOD, J. D.; LINGIREDDY, S.: *Program Pipe 2012* [online]. Lexington. 2013.
[cit. 2013-05-09]. Dostupné z: <<http://kypipe.com/>>.
- [20] SL-KING, S.: *Program Sewer+* [online]. Slovinsko. 2013. [cit. 2013-05-09].
Dostupné z: <<http://www.autodeskclub.cz/sewer>>.
- [21] AQUION, S.: *Program Siteflow* [online]. Česká republika. 2013. [cit. 2013-05-09].
Dostupné z: <<http://www.aquion.cz/index.php/software/siteflow/uvod-do-siteflow>>.
- [22] RODRÍGUEZ, M.: *Program Watdis, the little challenger* [online]. Bogota. 2013.
[cit. 2013-05-09]. Dostupné z: <<http://www.water-simulation.com/wsp/2012/11/19/watdis-the-little-challenger/>>.
- [23] TRANSPARENT BLUE: *Program Watdis* [online]. Bogota. 2013.[cit. 2013-05-09].
Dostupné z: <<http://www.watdis.com/en/>>.
- [24] HEASTAD METHODS INC.: *Program WaterCAD* [online]. USA. 2013.
[cit. 2013-05-09]. Dostupné z: <<http://www.bentley.com/cs-CZ/Products/WaterCAD/Features-List.htm>>.
- [25] HYDROMANTIS.: *Program Watpro* [online]. Kanada. 2013. [cit. 2013-05-09].
Dostupné z: <<http://www.hydomantis.com/WatPro.html>>.
- [26] SWECO HYDROPROJEKT A.S.: *Program Watpro* [online]. Česká republika. 2013.
[cit. 2013-05-09]. Dostupné z: <http://winplan.cz/sw_cz.htm>.
- [27] PIPE 2012: *Pipe 2010 Help manual* [online]. 2010. [cit. 2013-05-09].
Dostupné z: <http://kypipe.com/new_stuff/Pipe2010_Help_Manual.pdf>.
- [28] WATERCAD: *User's guide – WaterCAD v4* [online]. 2000. [cit. 2013-05-09].
Dostupné z: <<http://www.scribd.com/doc/101130139/WATERC-1>>.

- [29] EPANET: *Epanet – Users manual* [online]. 09-2000. [cit. 2013-05-09].
Dostupné z: <<http://www.scribd.com/doc/139493192/EN2manual>>.
- [30] JANDORA, Jan, Vlastimil STARA a Miloš STARÝ. *Hydraulika a hydrologie*. Brno: CERM, 2011, 186 s. ISBN 978-80-7204-739-0.
- [31] 98/83/ ES: *Evropská směrnice pro jakost vody určenou k lidské spotřebě*. EU. 1998. 32 s.
- [32] Zákon 258/2000 Sb. *Zákon o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů*. Praha: Český normalizační institut, 2000. 97 s.
- [33] Vyhláška 252/2004 Sb., *kteou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody*. Praha: Český normalizační institut, 2004. 22 s.
- [34] ČSN 75 5401, *Navrhování vodovodního potrubí*. Praha: Český normalizační institut, 2007. 12 s.
- [35] ČSN 01 3462, *Výkresy inženýrských staveb – Výkresy vodovodu*. Praha: Český normalizační institut, 1994. 34 s.
- [36] Zákon 274/2001 Sb., *Zákon o vodovodech a kanalizacích*. Praha: Český normalizační institut, 2003. 199 s. ISBN 80-903134-4-2.
- [37] AQUAVARRA RESEARCH LIMITED: *Pracovní plocha programu ARTS* [online].
Dostupné z <<http://www.aquavarra.ie/arts/brochure/bimages/main.jpg>>.
- [38] BUCEK, L: *Pracovní plocha programu Autopen* [online].
Dostupné z: <<http://www.cadstudio.cz/img/autopen-voda.gif>>.
- [39] AUTODESK: *Pracovní plocha programu AutoCAD simulation CFD* [online].
Dostupné z: <<http://files.wikihelp.autodesk.com/CFD/20131/ENU/GUID-946E8A30-049E-46CD-85C5-921AFC2581D9-low.png>>.
- [40] COMSOL: *Pracovní plocha programu Comsol* [online]. Dostupné z:
<http://www.comsol.com/shared/images/products/news42a/turbulence_lrg.jpg>.
- [41] FLOW SCIENCE: *Pracovní plocha programu Flow 3d* [online]. Dostupné z:
<http://www.flow3d.com/images/imgs_flow3d/9-4/flow-3d-hydraulic-head.jpg>.
- [42] ANSYS: *Pracovní plocha programu Fluent* [online]. Dostupné z:
<http://wildeanalysis.co.uk/system/photos/225/original/ANSYS_FLUENT_Results_CFD_Post.jpg?1271165727>.
- [43] AUTODESK: *Pracovní plocha programu HydraulCAD* [online].
Dostupné z: <http://b.vimeocdn.com/ts/364/480/364480971_640.jpg>.
- [44] DHI: *Pracovní plocha programu Mike Urban* [online]. Dostupné z:
<http://www.e-matrix.co.kr/images/products/mikeurban/urban_wq.jpg>.
- [45] WOOD, J. D.; LINGIREDDY, S.: *Pracovní plocha programu Pipe 2012* [online].
Dostupné z: <http://kypipe.com/new_images/2012/intrusion3.jpg>.

- [46] SL-KING, S.: *Pracovní plocha programu Sewer+* [online]. Dostupné z: <[http://www.autodeskclub.cz/acres.axd/getimg/cms\\$7Cz3TXXyO2wI5wRD4jd0SWxENaGyiFZPOZqX8lymNahU\\$3D/300x220/85](http://www.autodeskclub.cz/acres.axd/getimg/cms$7Cz3TXXyO2wI5wRD4jd0SWxENaGyiFZPOZqX8lymNahU$3D/300x220/85)>.
- [47] AQUION, S.: *Pracovní plocha programu Siteflow* [online]. Dostupné z: <<http://www.e-voda.cz/uploads/assets/clanky/Aquion/SiteFlow/priklad-z-dynamickeho-simulacniho-vypoctu-vodovodni-site.jpg>>.
- [48] HEASTAD METHODS INC.: *Pracovní plocha programu WaterCAD* [online]. Dostupné z: <http://i.udm4.com/screenshots_u4win/323/323286_1.jpg>.
- [49] INDGEDULD, P.; VYČÍTAL, J.: *Matematické modelování vodovodních sítí*. SOVAK. 1999, č.03 [cit. 2013-05-09].
Dostupné z <<http://www.mzp.cz/ris/ais-ris-info-copy.nsf/da28f37425da72f7c12569e600723950/20651a5a6513936bc1256a310070b73d?OpenDocument>>.

8 SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|--|----|
| Obrázek 2-1: Schéma výpočetní sítě | 16 |
| Obrázek 3-1: Ukázka pracovní plochy a logo programu ARTS™ | 18 |
| Obrázek 3-2: Ukázka pracovní plochy a logo programu Aquis Operation | 19 |
| Obrázek 3-3: Ukázka pracovní plochy a logo programu Autopen | 20 |
| Obrázek 3-4: Ukázka pracovní plochy a logo programu Autodesk simulation CFD..... | 21 |
| Obrázek 3-5: Ukázka pracovní plochy a logo programu Comsol | 22 |
| Obrázek 3-6: Ukázka pracovní plochy a logo programu Epanet 2.0..... | 23 |
| Obrázek 3-7: Ukázka práce a logo programu Flow 3D..... | 24 |
| Obrázek 3-8: Ukázka pracovní plochy a logo programu Fluent | 24 |
| Obrázek 3-9: Ukázka pracovní plochy a logo programu HydrauliCAD | 25 |
| Obrázek 3-10: Ukázka pracovní plochy a logo programu Mike Urban | 26 |
| Obrázek 3-11: Ukázka pracovní plochy a logo programu Pipe 2012..... | 27 |
| Obrázek 3-12: Ukázka pracovní plochy a logo programu Sewer + | 28 |
| Obrázek 3-13: Ukázka pracovní plochy a logo programu SiteFlow® | 29 |
| Obrázek 3-14: Ukázka pracovní plochy a logo programu Watdis | 30 |
| Obrázek 3-15: Ukázka pracovní plochy a logo programu WaterCAD | 31 |
| Obrázek 3-16: Ukázka pracovní plochy a logo programu Watpro..... | 32 |
| Obrázek 3-17: Ukázka pracovní plochy a logo programu Winplan..... | 33 |
| Obrázek 4-1: Návrh úpravný vody | 36 |
| Obrázek 4-2: Pracovní plocha programu Epanet..... | 38 |
| Obrázek 5-1: Defaultně nastavené hodnoty surové vody – demoverze | 56 |
| Obrázek 5-2: Navržená sestava úpravný vody – Vzorový příklad č.1 | 57 |
| Obrázek 5-3: Výsledné hodnoty sledovaných ukazatelů vzorového příkladů č.1..... | 58 |
| Obrázek 5-4: Velikost dávek dezinfekce a chemických přísad je dostačující | 59 |
| Obrázek 5-5: Navržená sestava úpravný vody – Vzorový příklad č.2 | 60 |
| Obrázek 5-6: Navržená sestava úpravný vody není vyhovující | 61 |
| Obrázek 5-7: Navržená sestava úpravný vody – Vzorový příklad č.3 | 62 |
| Obrázek 5-8: Velikost dávek dezinfekce a chemických přísad je dostačující | 63 |

| | |
|---|----|
| Obrázek 5-9: Citlivostní analýza použitá u vzorového příkladu č.1 | 64 |
| Obrázek 5-10: Vodojem má následující parametry | 70 |
| Obrázek 5-11: Stav potrubí v uzlech za normálních okolností v nepoškozeném stavu. | 71 |
| Obrázek 5-12: Hydraulická analýza potrubí se zohledněnou netěsností v potrubí | 72 |
| Obrázek 5-13: Pracovní plocha programu Watdis se zmiňovanými prvky | 75 |
| Obrázek 5-14: Vzorový příklad zalomení trasy bez nutnosti vkládání uzlů – červeně jsou označeny body zalomení | 77 |
| Obrázek 5-15: Vzorový příklad vodovodní sítě | 78 |
| Obrázek 5-16: Návrhové hodnoty vodojemu | 79 |
| Obrázek 5-17: Stav na vodovodní síti v uzlech při dobré těsnosti potrubí..... | 79 |
| Obrázek 5-18: Zadaný výtokový součinitel | 80 |
| Obrázek 5-19: Hodnoty v emitterech po provedené hydraulické analýze..... | 81 |
| Obrázek 5-20: Srovnání programu Watdis a programu Epanet 2.0 | 83 |

9 SEZNAM TABULEK

| | |
|---|----|
| Tabulka 4-1: Ukázka sledovaných ukazatelů | 35 |
| Tabulka 5-1: Hodnoty součinitele výtoku podle tvaru otvoru..... | 68 |

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

| | |
|--------------------|---|
| TTHM |Total trihalogen metan – Celkový trihalogen metan |
| EPA |Environmental protection agency |
| CFD |Computational fluid dynamics – výpočet dynamiky kapalin |
| CAD |Computer aided design – počítačem podporované projektování |
| ZF _{t,n} |Označení pro zákal vody – hodnota formazínové jednotky |
| CHSK _{Mn} |Chemická spotřeba kyslíku manganistanem |
| mg/l Pt |Jednotka barvy – miligram na litr platiny |
| NTU |Nephelometric Turbidity Unit – anglické označení zákalu |
| HDD |Hard disk driver - pevný disk |
| RAM |Random access memory – paměť s přímým přístupem |
| NaClO |Chemické označení chlomanu sodného |
| LPS/m |Anglické označení jednotky litr za sekundu na metr |
| MH |Mezní hodnota |
| NMH |Nejvyšší mezní hodnota |
| DH |Doporučená hodnota |
| DBPs |Disinfection by products – vedlejší produkty dezinfekce |
| ČOV |Čistírna odpadních vod |
| Cl ₂ |Chemické označení plynného chlóru |
| HAA ₅ |Five haloacetic acids – Pět halogen kyselina octová |
| TOC |Total organic carbon – Celkový organický uhlík |
| GAC |Granulované aktivní uhlí |
| SUVA |Specifická UV absorbance |

11 SUMMARY

The subject of the thesis is the design of water supply facilities with the support of a simulation software.

The document is a summary of representative software tools that are used to design water supply sites directly or serve as supportive programs. A short summary of the origin, primary focus, availability and market price of each tool is listed in the survey.

Furthermore the individual programs are divided into four groups. The section conveys the software's ability to deal with any of the following issues:

- Water quality
- Hydraulic analysis and simulation of hydraulic working
- Design of water network
- Creation of simulation models

Subsequently, three chosen programs are subjected to exemplary tests, demonstrating some of the capabilities. The first program is Watpro, on which a design of a water treatment plant is drafted and a subsequent search for the sufficient dose of chemical additives is executed. The second program Epanet 2.0 calculates a model test of a water leak from a pipeline. The result is then compared with the outcome of equation calculation. The last program is Watdis, with which the same example of pipeline leakage is calculated and subsequently compared to the Epanet 2.0 result.

The work's aim is to provide an overview of the seventeen selected programs and supply the information to potential users from the ranks of designers and students.