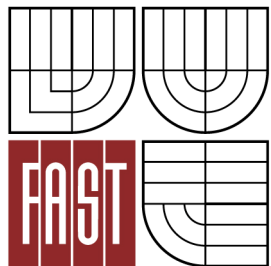




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍCH STAVEB



FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

HODNOCENÍ ZMĚN JAKOSTI POVRCHOVÝCH VOD V PRŮBĚHU POVODŇOVÝCH UDÁLOSTÍ

RATING OF THE QUALITY CHANGES OF THE
SURFACE WATER DURING FLOOD INCIDENTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MARTIN TOMÍČEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ JULÍNEK, Ph.D.

BRNO 2012



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 vodních staveb

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Martin Tomíček

Název Hodnocení změn jakosti povrchových vod v průběhu povodňových událostí

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

**Datum zadání
bakalářské práce** 30. 11. 2011

**Datum odevzdání
bakalářské práce** 25. 5. 2012

V Brně dne 30. 11. 2011

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

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

Podklady a literatura

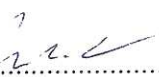
NOVOTNY, V.- OLEM, H. 1994. Water Quality - Prevention, Identification and Management of Diffuse Pollution, Van Nostrand Reinhold, New York, 1994, 1054 p.
RUNKEL, RL.- BENCALA, KE. 1995. Transport of reacting solutes in rivers and streams, In. Singh, V.P. - Environmental hydrology, U.S. Government, 1995, p. 137 - 164.
Říha, J. a kol. 2002. Jakost vody v povrchových vodních tocích a její matematické modelování, NOEL 2000, Brno, 269 s.
61/2003 Sb. Nařízení vlády o ukazatelích a hodnotách přípustného stupně znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech.

Zásady pro vypracování

Práce obsáhne rešerši problematiky modelového řešení jakosti vody, analýzu typů zdrojů znečištění ovlivňujících jakost ve vodních tocích a inundaci v průběhu povodně a praktickou aplikaci získaných poznatků. Na vybrané lokalitě a pro zvolený povodňový scénář bude sestaven model jakosti vody pro vyhodnocení průběhu šíření znečištění v záplavovém území a bude proveden návrh preventivních opatření.

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací


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

Bibliografická citace

TOMÍČEK, Martin. *Hodnocení změn jakosti povrchových vod v průběhu povodňových událostí*. Brno, 2012. 51s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce Ing. Tomáš Julínek, Ph.D.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá hodnocením změn jakosti povrchových vod v průběhu povodňových událostí na řece Dyji. Součástí práce je také porovnání výsledků v programech HEC-RAS 4.0 a InfoWorks ICM 2.5.

Abstract

This bachelor's thesis is dealing with the changes in quality of surface water modelling. Case study is done on selected short reach of the Dyje River. The subjective of the work is comparison of application and findings in programs HEC-RAS 4.0 and Info Works ICM 2.5.

.

Klíčová slova

Jakost vody, ustálené proudění, neustálené proudění, povrchové vody, model, HEC-RAS 4.0, InfoWorks ICM 2.5

Key words

Water quality, steady flow, unsteady flow, surface waters, shape, HEC-RAS 4.0, InfoWorks ICM 2.5

Prohlášení

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

V Brně dne 25. května 2012

.....

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Tomáši Julínkovi, Ph.D. za jeho odborné připomínky a pomoc při řešení problému v průběhu zpracování práce.

OBSAH

1	ÚVOD.....	8
2	CÍLE A PŘEDMĚT PRÁCE	9
3	OBECNÉ POŽADAVKY NA MODELOVÁNÍ JAKOSTI VODY	10
3.1	PROUDĚNÍ V TOCÍCH.....	10
3.2	JAKOST	10
3.3	MATEMATICKÉ MODEL Y	13
4	POPIS ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ	15
5	ZÁKLADNÍ POPIS VYBRANÝCH SOFTWAREŮ.....	17
5.1	HEC-RAS 4.0	17
5.1.1	Proudění.....	17
5.1.2	Jakost	18
5.1.3	Vstupní parametry	18
5.2	Infoworks ICM 2.5.....	19
5.2.1	Proudění.....	20
5.2.2	Jakost	20
5.2.3	Hodnocení parametrů.....	21
6	PŘÍPADOVÉ SROVNÁNÍ SOFTWAREŮ.....	22
6.1	Sestavení modelu	22
6.1.1	HEC-RAS	22
6.1.2	InfoWorks ICM	29
6.2	Výpočty	32
6.2.1	HEC-RAS	32
6.2.2	InfoWorks ICM	39
6.3	Výsledky a srovnání	44
	ZÁVĚR	49
	ODBORNÁ LITERATURA	51
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	52

1 ÚVOD

Obsahem bakalářské práce je řešení problematiky jakosti povrchových vod a transport rozpuštěných látek v povrchových vodách pomocí vybraných softwarových prostředků. Povrchová voda, je veškerá voda, která se nachází na zemském povrchu ve formě řek, potoků, rybníků nebo nádrží. Škodlivé látky, které ovlivňují jakost vody, se do povrchových vod dostávají různými způsoby. Nejčastějším způsobem vnosu znečištění jsou bodové zdroje, mezi které patří čistírny odpadních vod, průmyslové zdroje, odpadní vody z menších sídel a další. Dále se jedná především o plošné zdroje, mezi něž patří splachy ze zemědělsky obdělávaných půd nebo znečištění z rozptýlených zdrojů znečištění. Tyto škodlivé látky obsažené v povrchové vodě mají negativní vliv na ekologii i na celé životní prostředí. Ochrana životního prostředí má vyšší prioritu než měla dříve, a proto také dochází k rozvoji a výzkumům této problematiky.

V dnešní době se řešení problematiky jakosti povrchové vody provádí pomocí softwarových prostředků, které využívají postupů matematického modelování. Matematické modely jakosti vody jsou uplatněny na úrovni koncepčního rozhodování a na úrovni operativního řešení havarijních situací. Při péči o jakost vod je nutné plnit obecné, legislativně stanovené požadavky na jakost povrchových vod, což jsou zákony a nařízení vlády.

Příčina havarijního znečištění může být lidský faktor, technická příčina, nebo může mít na to vliv i příroda. Za havárii se vždy považuje případ závažného zhoršení nebo ohrožení jakosti vod znečišťujícími škodlivými látkami. Závažné zhoršení jakosti vod je signalizováno zabarvením vody, zápachem, tvorbou usazenin nebo tukovým povlakem. Výsledky jakosti vody v tocích se většinou publikují ve formě studií jakosti vody. [1]

2 CÍLE A PŘEDMĚT PRÁCE

Cílem bakalářské práce je problematika modelového řešení jakosti vody při využití softwarových prostředků. Vybrány byly programy HEC-RAS 4.0 a InfoWorks ICM 2.5. Ověření provedeno pomocí úloh v ustáleném a neustáleném proudění.

Modelového řešení se skládá z ustáleného a neustáleného proudění vody v povrchových tocích a s tím i související transport rozpuštěných látek. Pro dané testovací úlohy se sestaví model jakosti povrchových vod pro vyhodnocení průběhu šíření znečištění v záplavovém území. Podle dostupných podkladů bude model proveden ve výpočtových softwarech. Vytvoří se simulace průběhu znečištění po délce toku v čase pro zadané zatěžovací stavy znečištění. Výsledkem budou hodnoty koncentrace sledované znečišťující látky v toku a tok jak po délce toku (bilanční řešení), tak i v jednotlivých časových horizontech.

Potřebná data se váží na oblast řešení, která je charakterizována tokem a jeho na sebe navazujícími zdroji znečištění. V toku je sledován časoprostorový průběh šíření vybraných látek.

Zdroje znečištění je třeba při hodnocení definovat s ohledem na typ znečištění a časoprostorovou specifikaci vnosu. Zásadní otázkou je stanovení typu látky a množství látky, které se má do toku dostat. [1]

3 OBECNÉ POŽADAVKY NA MODELOVÁNÍ JAKOSTI VODY

3.1 PROUDĚNÍ V TOCÍCH

Proudění je pohyb tekutin, kdy dochází k přesunu částic svým neuspořádaným pohybem a k posunu částic ve směru proudění.

Dělíme proudění na:

- Ustálené: při hydraulickém proudění jsou hydraulické veličiny v čase neměnné a závisí pouze na poloze. Potom platí rychlost $u = f(x,y,z)$, tlak $p = f(x,y,z)$
- Neustálené: neustálené proudění je takové, kde hydraulické veličiny jsou funkcí času a polohy. Potom platí rychlost $u = f(x,y,z,t)$, tlak $p = f(x,y,z,t)$
- Rovnoměrné: je to případ ustáleného proudění, při kterém jsou průtočné průřezy na celém úseku konstantní. Při ustáleném proudění je konstantní průtok Q a rychlost v , proto nastává při konstantním sklonu, drsnostech a neměnných příčných profilech.
- Nerovnoměrné: jsou při něm veličiny konstantní v čase. Průřezová rychlost a průtočná plocha se mění po délce proudu, což je dáno proměnným sklonem koryta, drsnostech a příčných profilech.

V případě vodních toků se obvykle přijímá základní předpoklad jednorozměrné schematizace, kdy se zanedbávají složky vektoru rychlosti kolmé na směr proudění. [2]

Matematický popis proudění při jednorozměrné schematizace vychází také ze zákona zachování hmotnosti (3.2) a věty o změně hybnosti (3.3)

3.2 JAKOST

Jakost vody přirozených toků je dána hydrologickými podmínkami a antropogenní činností. Péče o jakost vody musí proto vycházet z obou faktorů, i když proces ovlivňování směřuje většinou pouze k činnosti lidí. Oba mechanismy mají

nicméně nahodilý charakter a mohou být popsány jako stochastické procesy. Jakost vody potom může být považována za náhodnou proměnnou.

Detailněji se otázka péče o jakost vody řeší prostřednictvím dílčích projektů jakosti vody, které se skládají z [1]:

- plánu jakosti vody povodí obsahujícího koncepční představu o jakosti vody v daném povodí
- podkladové části, která obsahuje základní topologické, hydrologické a hydraulické parametry povodí, zdroje znečištění, jejich průzkum, identifikaci, vyhodnocení a monitoring sledovaných ukazatelů jakosti vody
- modelu, který umožňuje simulaci průběhu znečištění po délce toku pro zadané zatěžovací stavy znečištění
- návrhu nápravných opatření, při jejichž realizaci je vhodné vycházet z plánů jakosti vody v daném regionu
- závěrečného zhodnocení, které se skládá z vyhodnocení efektu realizovaných opatření na základě srovnání předpokládaných hodnot ukazatelů znečištění s hodnotami naměřenými po realizaci nápravných opatření

Základními podklady pro stanovení cílového stavu jakosti jsou zejména legislativní dokumenty, místní požadavky na jakost vody a mezinárodní standarty a požadavky.

Hodnocení stávající jakosti vody v tocích je podkladem pro:

- kvalifikovaná vyjádření z hlediska vodohospodářského plánování a širších vodohospodářských zájmů
- rozhodování vodohospodářských orgánů a orgánů hygieny
- stanovení optimálních efektů čištění odpadních vod
- potřebu plánovacích orgánů při koncepčním řešení rozvoje ucelených oblastí
- potřebu výzkumu, projekce a ostatních zájemců k řešení specifických úkolů

Pro hodnocení stávajícího stavu jakosti vody slouží údaje o průtokových poměrech a údaje o jakosti (koncentrace v jednotlivých ukazatelích jakosti vody) získané vyhodnocením vzorkování a analýz odebraných vzorků ve sledovaných profilech hodnocených toků. Jakost vody v kontrolních profilech se hodnotí ve vztahu k průtokům a u ukazatelů podléhajících objemovým změnám také ve vztahu k teplotě vody. Hodnocení jakosti vody se provádí:

- srovnáním průtokových poměrů s údaji o doporučených maximálních průtocích
- určením třídy jakosti povrchových vod srovnáním s mezními hodnotami jednotlivých tříd dle ČSN 75 7221
- srovnáním s přípustnými hodnotami podle nařízení 82/99 Sb. pro vodárenské a ostatní povrch. toky
- vyhodnocení v podélných profilech toku: matematické modely jakosti vody
- statistickými metodami vyhodnocením

Výsledky hodnocení jakosti vody v tocích se publikují formou studií jakosti vody. Zkušenosti se zpracováním studií ukazují, že je nezbytné, aby se studie zabývaly problematikou jakosti vody komplexně v uceleném dílčím povodí, aby byly koncepčně ujasněny návaznosti na všechny možné druhy hospodářské činnosti v dílčích povodích a stanoveny jednoznačné závěry pro období minimálně příštích 10 – 15 let. [1]

Jakost vody nejvíce ovlivňují ukazatele:

- BSK (Biochemická spotřeba kyslíku) – množství kyslíku potřebného k oxidaci biologicky odbouratelných látek obsažených ve vodě
- N (organický dusík)
- NH_4 (amoniový dusík)
- NO_2 (dusitany)
- NO_3 (dusičnany)
- P (fosfor)
- a další (BCP, AUX...)

Znečištění je uvažováno pro 2 scénáře. Znečištění bodovým znečištěním o nižších koncentracích a znečištění bodovým znečištěním vody s dešťové zdrže, která má vysokou koncentraci. Množství vody a znečištění je bráno dle ekvivalentních obyvatel.

3.3 MATEMATICKÉ MODEL Y

Matematické modely použité v práci jsou vybrány podle [1]:

1) Charakteru proudění vody

- v jednotlivých vodních útvarech jsou přijímána zjednodušení obecně prostorového, neustáleného proudění a šíření znečištění.
- úlohy řešíme jako jednorozměrné stacionární

2) Úrovně modelu:

- Základní modely: obsahují detailnější popis dějů, které ovlivňují jakost vody. Hodnoty výsledných veličin mají již určitou vypovídací schopnost a poskytují hrubou „kvantitativní“ představu o jakosti vody.

3) Charakteru povodí:

- Modely sítí vodních toků: jsou určeny k dokumentaci změn jakosti vody odtékající z povodí příslušejícímu danému recipientu a dále v síti vodních toků

4) Časoprostorové změny:

- hydraulických poměrů, zdrojů znečištění a koncentrace znečišťující látky v toku
- modely umožňující řešení bilančního stavu znečištění v soustavě vodních toků pro účely dlouhodobých koncepčních úvah o jakosti vody v povodí

Pro modelování byly zvoleny tyto dva softwarové prostředky:

- HEC-RAS 4.0
- InfoWorks ICM 2.5

V následujících kapitolách budou napsány informace o jednotlivých programech, a poté jejich srovnání na jednoduchých úlohách (viz kap. 5).

Níže jsou uvedeny základní vztahy, které vybrané softwary využívají:

Rovnice energie

$$Z_i + Y_i + \frac{\alpha_i v_i^2}{2g} = Z_i + Y_i + \frac{\alpha_i v_i^2}{2g} + h_c \quad (3.1)$$

Rovnice kontinuity

$$\frac{\partial m}{\partial t} \partial t = m_p - m_o \quad (3.2)$$

Rovnice hybnosti

$$F = m \frac{Du}{Dt} \quad (3.3)$$

Advekčně difuzní rovnice

$$\frac{\partial(CA)}{\partial t} = -\frac{\partial(uCA)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(DA \frac{\partial C}{\partial x} \right) + S \quad (3.4)$$

Odbourávání znečišťujících látek- reakční rovnice 1 řádu

$$\frac{\partial(C)}{\partial t} = -KC \quad (3.5)$$

Např. biologická spotřeba kyslíku.

$$CBOD_{Sources / Sinks} = -K_1 CBOD \quad (3.6)$$

Jednotlivé proměnné jsou uvedeny v samostatné kapitole v závěru dokumentu v kapitole *Seznam použitých zkratk a symbolů*.

4 POPIS ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Zájmové území, které je předmětem řešení, zahrnuje úsek řeky Dyje ve městě Břeclav (viz obr. 4.1). Úsek byl vybrán pouze jako testovací, aby testovací úlohy byly provedeny na reálném úseku tok. Další návaznosti jako je především analýza zdrojů znečištění nebyla v práci provedena.

Břeclav se nachází v Jihomoravském kraji poblíž hranic s Rakouskem a Slovenskem. Měřený úsek tvoří hlavní tok protékající Břeclaví, tj. km 24,006 (PF81) - 17,889 (PF50), kde hodnoty v závorkách popisují začínající a koncový profil řešeného toku. Úsek je dlouhý 6,117 km a skládá se z 32 průtočných profilů.

Obr. 4.1 Zájmové území



Měřená část toku má dva druhy příčných profilů. Od km 21,652 (PF65) – 23,036 (PF76) má tok po obou stranách svislé nábrežní zdi a koryto zde má tvar obdélníku. Na zbylé části toku je koryto ve tvaru lichoběžníku. Na celé délce toku Dyje v zadané lokalitě se nachází jeden jez, který bude při výpočtech zohledněn. U modelu jsou pro lokalitu zadány vstupní informace. Tyto informace toku tvoří dvě části. V první části se jedná o data z AutoCadu, která obsahují situaci, podélný profil a příčný profil. Druhá data jsou získána z programu Excel. Ty tvoří souřadnice příčných profilů a osy toku.

5 ZÁKLADNÍ POPIS VYBRANÝCH SOFTWAREŮ

5.1 HEC-RAS 4.0

HEC-RAS je jedním z produktů, který v oblasti hydrauliky a hydrologie vyvinula Hydrologic Engineering Center US Army Corps of Engineers. Pro modelování jsme využili verzi HEC-RAS 4.0. Model umožňuje řešení okružních a stromových sítí přirozených otevřených koryt, které jsou dány příčnými a podélnými profily. HEC-RAS umožní výpočet nerovnoměrného proudění v otevřených korytech při ustáleném i neustáleném režimu. Je to integrovaný prostředek, který obsahuje moduly hydraulické analýzy, obsluhy datové báze a vizualizace vstupních dat i výsledků. Výsledky hydraulických simulací modelu HEC-RAS je možné využít jako vstupy do dalších produktů HEC. [3]

5.1.1 Proudění

Výpočetní schéma ustáleného a neustáleného proudění je založené na výpočtech nerovnoměrného proudění vody v neprizmatických korytech metodou po úsecích. Proudění je kromě geometrické specifikace definováno pomocí okrajových resp. počátečních podmínek a dalších hydraulických parametrů (především drsnost n). Ustálené proudění vychází z definovaných okrajových podmínek, které mohou být zadané formou průtoků, úrovně hladin, sklonem dna nebo Q - h křivkou. U neustáleného proudění jsou okrajové podmínky zadány formou hydrogramů (rok a přítoky) a dolní okrajová podmínka obdobně jako u ustáleného proudění (sklon dna, kritická hloubka nebo Q - h křivka). Drsnosti koryta jsou popsány buď Manningovým součinitelem drsnosti, nebo lze využít parametr zrnitosti složení materiálu dna k . V současné době HEC-RAS je schopen počítat jednorozměrné výpočty a vypočítá různé typy proudění (říční, bystrinné, kritické). Výpočet je prováděn vždy mezi 2 průřezy rovnicí energie (3.1).

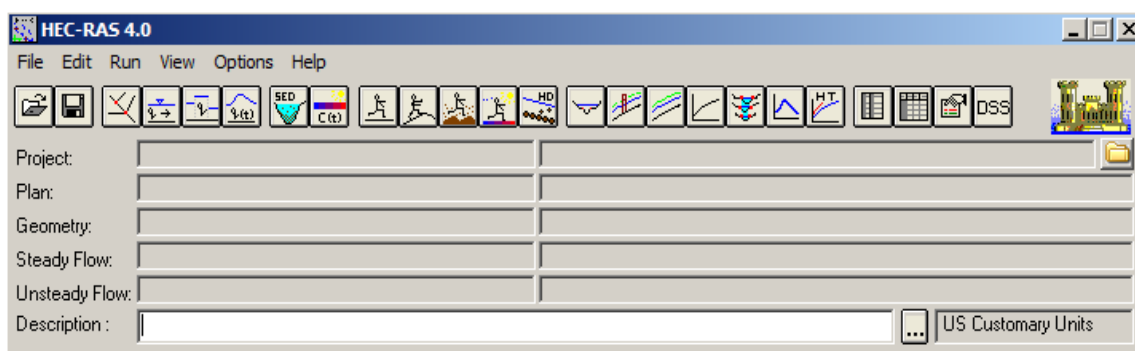
5.1.2 Jakost

Modul kvality vody používá explicitní numerické schéma pro řešení jednorozměrného proudění. Model simuluje transport a disperzi konzervativních a nekonzervativních složek, rozpuštěného dusíku, rozpuštěného fosforu, řas a rozpuštěného kyslíku. Pro spuštění modelu je třeba mít k dispozici výsledky už vypočteného modelu proudění. Jakostní model zahrnuje rovněž specifikaci, pomocí které se určí chování látky, schopnost samočištění toku apod. Jedná se o zadání rychlostních konstant použitých ve vybraných reakčních rovnicích, koeficient hydrodynamické disperze, apod.[3] Program dále nabízí různé prezentace výsledků jak v numerické, tak i v grafické podobě.

5.1.3 Vstupní parametry

V HEC-RAS jsou hodnoceny základní hydraulické parametry. Například: průtoky, rychlosti nebo výšky hladin. Průtok Q se hodnotí na základě průtočného průřezu A , hydraulického poloměru R , sklonu I a součinitele drsnosti dle Manninga n . Od průtoku jsou odvozeny rychlosti a výšky hladin. V závislosti na režimu proudění je použita rovnice energie (3.1), rovnice kontinuity (3.2) a pohybová rovnice (3.3). U jakosti se hodnotí koncentrace znečišťujících látek a jejich rozptyl po délce toku. Stanoví se dle nastavení znečištění, průtoků a rychlosti vody v toku.

Obr. 5.1 Hlavní panel programu HEC-RAS 4.0



Na obrázku 5.1 je znázorněn hlavní panel, který nám nabízí možnosti správy souborů (file), úprav (edit), spouštění simulací (run), nastavení prohlížeče (view), nastavení softwaru (options) a nápovědu (help).

Jednotlivé nabídky byly využity pro:

- Správa souborů: slouží k otevření, ukládání nebo přejmenování souborů
- Úpravy: upravení a nastavení dat geometrických, ustáleného proudění, neustáleného proudění a data jakosti vody
- Spouštění simulací: výpočty ustáleného proudění, neustáleného proudění a výpočty jakosti vody
- Prohlížeč: příčné profily, podélné profily, hydraulické výpočty a výpočty jakosti vody
- Nastavení: na počátku je nutné pro správnost výpočtu na stavit jednotky SI
- Náповěda: při nejasnostech při modelování v programu

5.2 INFOWORKS ICM 2.5

InfoWorks ICM (Integrated Catchment Modelling), je plně integrovanou platformou pro modelování, zahrnující interakci mezi urbanizovanými oblastmi a povodím toků. Plná integrace technik modelování 1D a 2D prvků dává nové možnosti pro modelování jak povrchových, tak podpovrchových elementů daného povodí. InfoWorks ICM umožňuje začlenit hydrauliku, hydrologii přírodního a urbanizací ovlivněného prostředí do jediného modelu.

Používá se pro:

- Vodohospodářské plánování povrchových vod a generely kanalizačních systémů
- Podpora efektivní implementace odvodňovacích systémů urbanizovaných oblastí
- Řízení odtoku dešťových vod v městském území a návrh retenčních prostorů
- Posouzení budoucích potřeb v povodí v podmínkách růstu nebo klimatických změn
- Předpovědi záplav a znečištění vody ve složitých interakcích urbanizovaných území a povodí řek
- Hydraulická analýza čištění odpadních vod
- Vyhodnocení přítoku cizích vod do kanalizačního systému

Aplikace InfoWorks ICM byla vyvinuta na základě nejmodernějších technologií s kompatibilitou a integrací do ArcGIS v samém jádru řešení. InfoWorks ICM je přizpůsoben k plnému využití mnoho-jaderných procesorů a specializované grafické karty (GPU) tak, aby výpočet probíhal co nejrychleji. InfoWorks ICM je také plně kompatibilní s operačními systémy Microsoft Windows 7 a Windows Server 2008 ve verzi 32 i 64 bitové, což uživatelům umožňuje provádět hydraulické modelování v rychlém a spolehlivém prostředí. [4]

5.2.1 Proudění

Jelikož jde o složitější integrovaný program, který není specializovaný jen na říční modelování, tak je nastavení proudění náročnější. Nejprve je třeba provést definici geometrie koryta, které lze importovat z jiných zdrojů např. ve formátu souboru CSV, SHP, apod., nebo námi zvoleným způsobem vkládání jednotlivých profilů ručně. Okrajová podmínka je zadávána ve formě časové řady. Typ řešené úlohy je analyzován automaticky pomocí výpočetního aparátu na základě zadaných parametrů v úvodní („inicializační“) fázi výpočtu. Rozlišují se tyto způsoby zadání podmínky:

- Ustálené proudění (okrajová podmínka) – konstantní průtok nebo hladina, kritická a normální hloubka
- Pro oba režimy proudění je možné zadat dolní okrajovou podmínku ve formátu Q-h křivky
- Neustálené proudění (okrajová podmínka) – hydrogram v čase
- Neustálené proudění (počáteční podmínka) – počáteční průtok

Stejně jako v HEC-RAS je ustálené proudění počítáno rovnicí energie (3.1) a neustálené rovnicí kontinuity (3.2) a pohybovou rovnicí (3.3)

5.2.2 Jakost

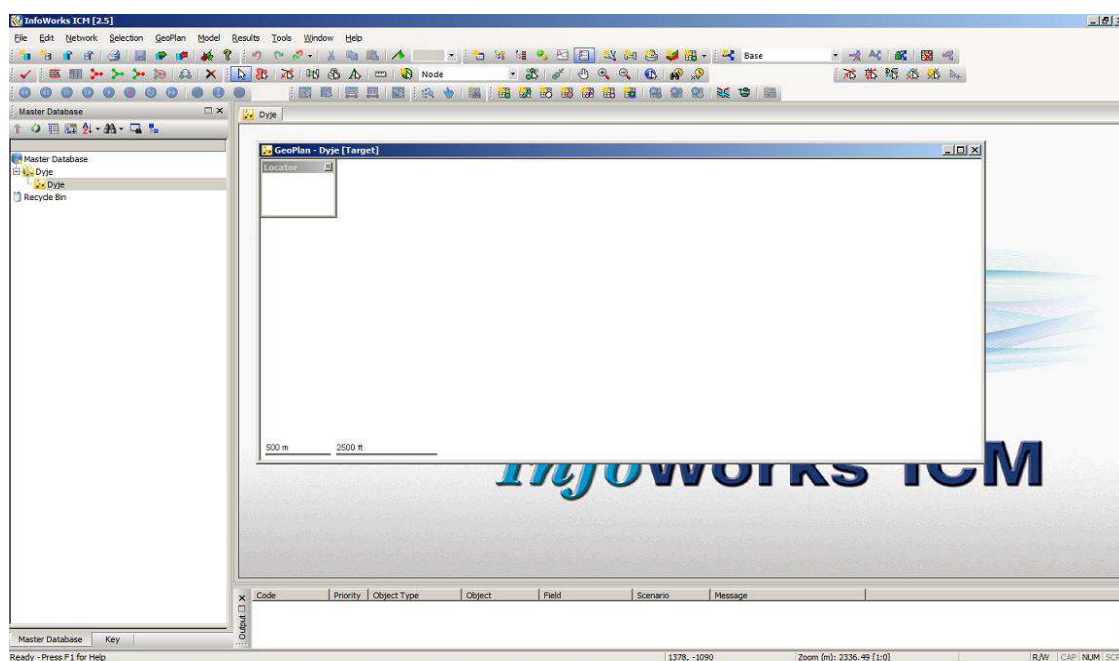
Může se zde modelovat transport a disperze konzervativních i nekonzervativních znečišťujících látek. Simulováním se zjistí schopnost toku rozkládat a přesouvat látky. Proměnná je vždy přesunovaná látka, která se rozkládá podle kinetiky popsané zvolenou

reakční rovnicí. Modelování je primárně využito pro organické začišťující látky. Jakost se odvíjí od typu proudění.

5.2.3 Hodnocení parametrů

Stejně jako v HEC-RAS jsou hodnoceny základní hydraulické parametry jako jsou průtoky, rychlosti nebo výšky hladin. Průtok Q se hodnotí na základě průtočného průřezu A , hydraulického poloměru R , sklonu I a součinitele drsnosti dle Manninga n . Od průtoku jsou odvozeny rychlosti a výšky hladin. Pro ustálené proudění je použita rovnice energie a pro neustálené rovnice kontinuity a pohybová rovnice. Modelováním jakosti získáváme hlavní parametr a to je rychlost rozkladu. Ta může být měněna mezi denní a noční dobou. Na obrázku 5.2 je základní panel programu InfoWorks ICM 2.5.

Obr. 5.2 Hlavní panel programu InfoWorks ICM 2.5



6 PŘÍPADOVÉ SROVNÁNÍ SOFTWARE

6.1 SESTAVENÍ MODELU

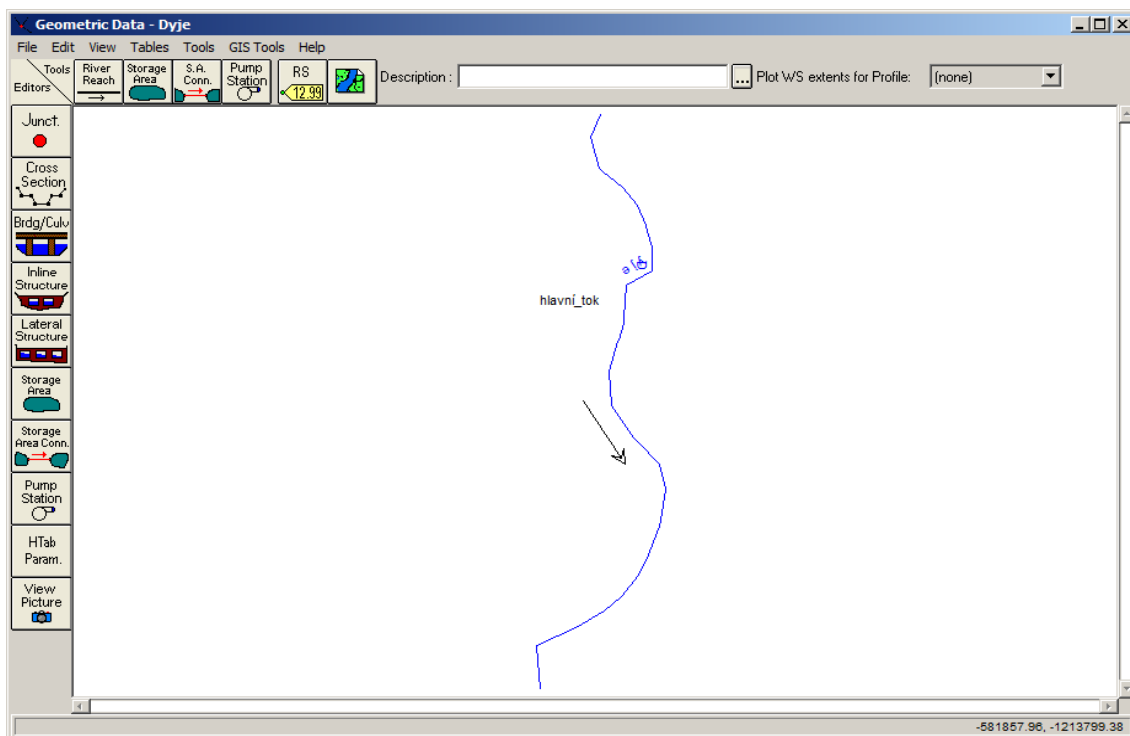
6.1.1 HEC-RAS

Slouží k nezbytnému vkládání dat do říčního systému. Základní data jsou průřezy a objekty na vodním toku (mosty, jezy, propustky)

Prvním krokem je vytvoření nového projektu a zadání základních geometrických dat, které jsou připraveny v podkladech. V prvním kroku je zakreslena osa toku a zadán směr proudění vody Obr (6.1). Osa je zadána jako přímka, která je upravena podle souřadnic na požadovaný tvar. Souřadnice tvoří X-ové a Y-ové data, která mění tvar toku. Tato data lze importovat ve formátu CSV nebo ve starších verzích HEC-RAS a vložit přímo do buněk tabulky říčního toku. [3]

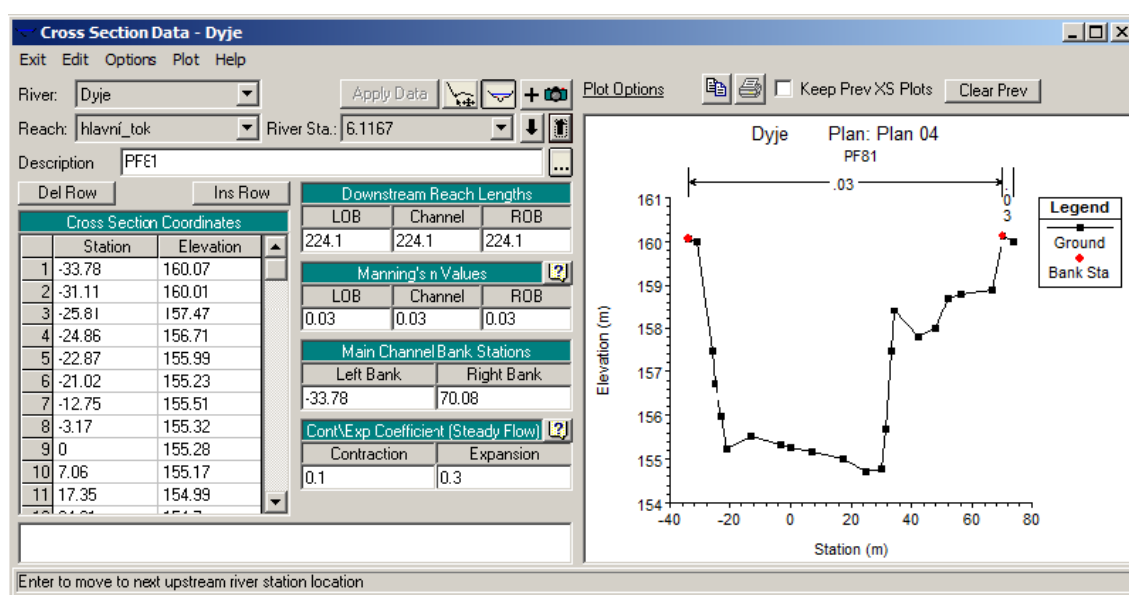
Po zakreslení osy jsou zadána tato geometrická data: osa toku, příčné profily dle výškového a délkového staničení, Manningův součinitel drsnosti a břehy toku.

Obr 6.1 Osa toku



Po zadání osy toku se přechází do tabulky průřezových dat (*Cross Section Data*). V této tabulce budou zadány jednotlivé profily staničením (*Station*), nadmořskou výškou (*Elevation*) a vzdáleností od předchozího profilu (*Downstream Reach Lengths*). Dále se zadávají informace o toku: Manningův součinitel drsnosti (*Manning's n Values*), který je zadán všude stejný 0,01 a levý a pravý břeh toku (*left, right bank*) viz Obr. (6.2)

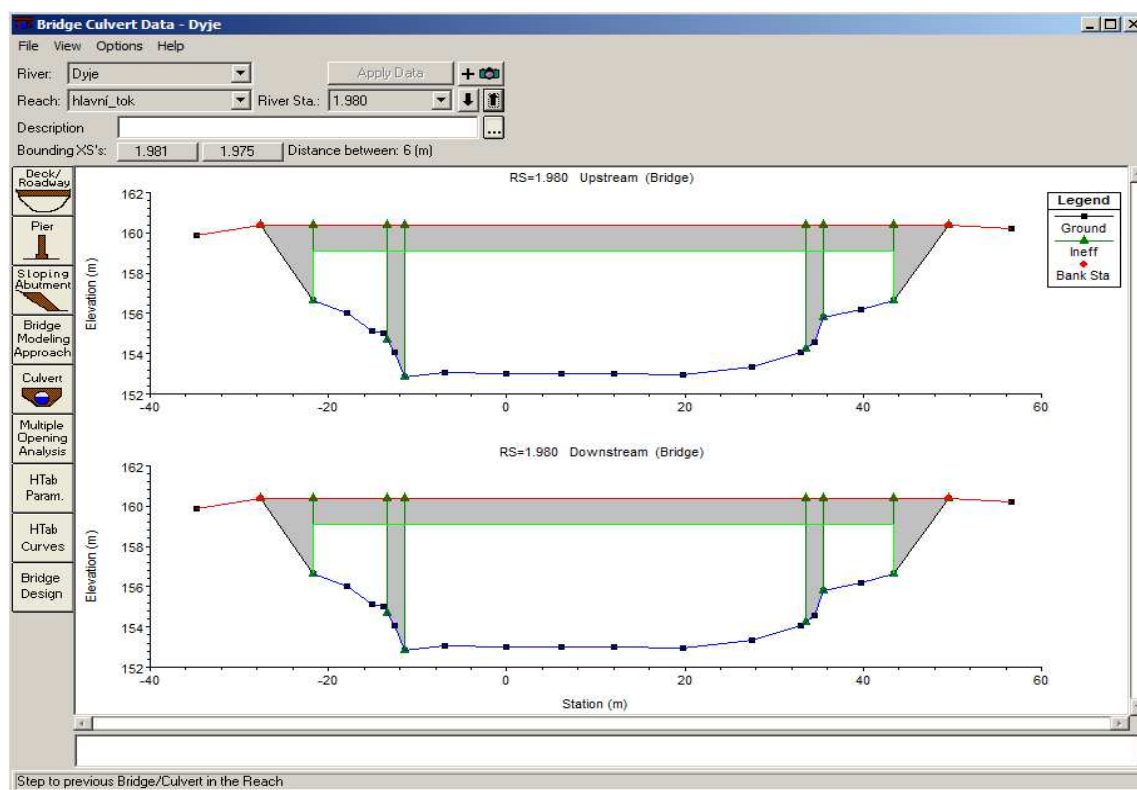
Obr. 6.2 Tabulka průřezových dat



Dalším krokem je zadání objektů na toku. HEC-RAS umožňuje několik metod zadání hydraulických funkcí mostních a jezových objektů při různých scénářích hydraulického režimu proudění. Mezi objekty patří: silniční mosty, železniční mosty, pěší lávky a jezy.

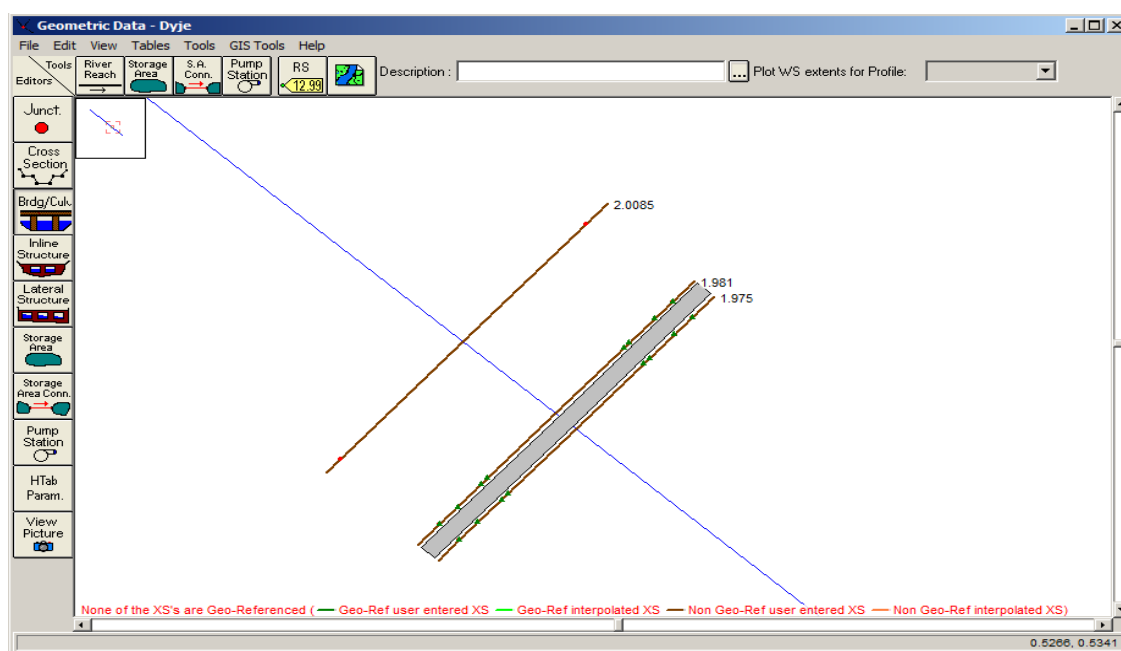
V geometrických datech je položka mosty (*Bridge*), kde se nastaví všechny potřebné hodnoty tak, aby byla jasně zadána průtočná plocha. Tím model dostává co největší podobu k reálnému toku. Mosty můžou významně ovlivnit průběh toku, ale v našem případě velký vliv na tok nemají. Na Obr (6.3) je zadán železniční most tvořící ocelovou konstrukci o šířce 6 metrů.

Obr 6.3 Příčný řez před a za mostem



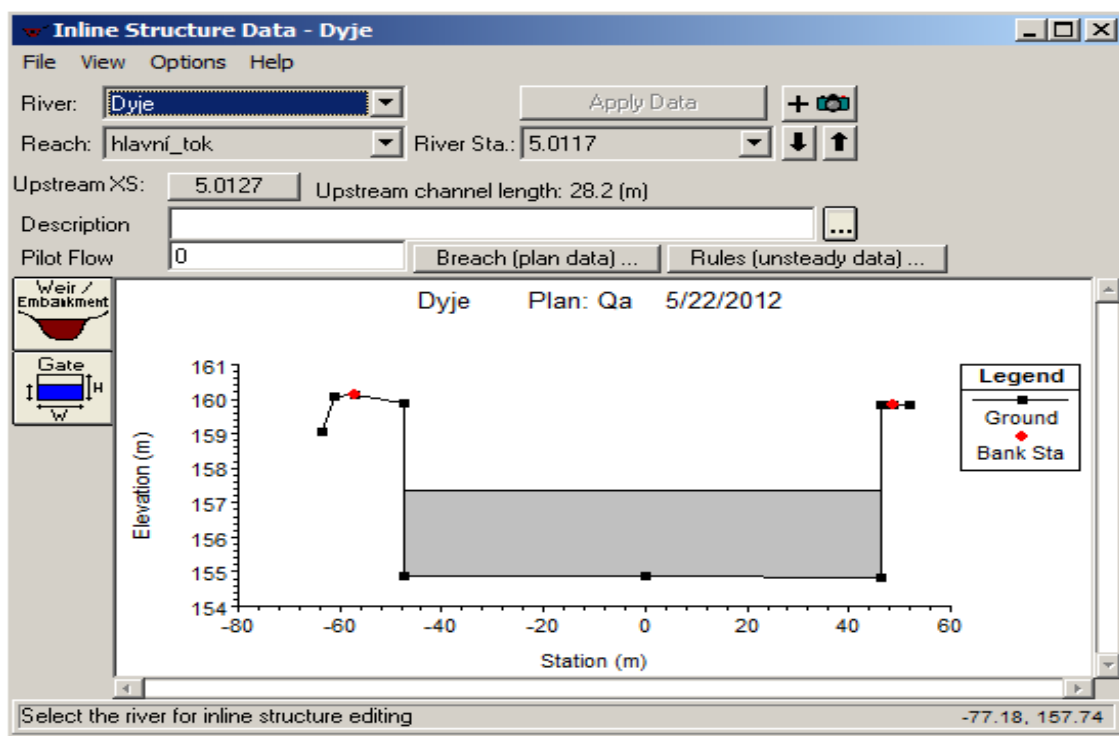
Most musí být vložen mezi dva blízké příčné profily a od nich zadána vzdálenost hrany mostovky obr (6.4).

Obr. 6.4 Umístění mostu



Mnohem významnější objekt na modelovaném toku je jez. Jez slouží jako vzdouvací zařízení hladiny vody a na jakost vody má velký vliv. Ovlivňuje koncentraci znečišťujících látek a disperzi. Na obrázku (6.5) je příčný řez jezem.

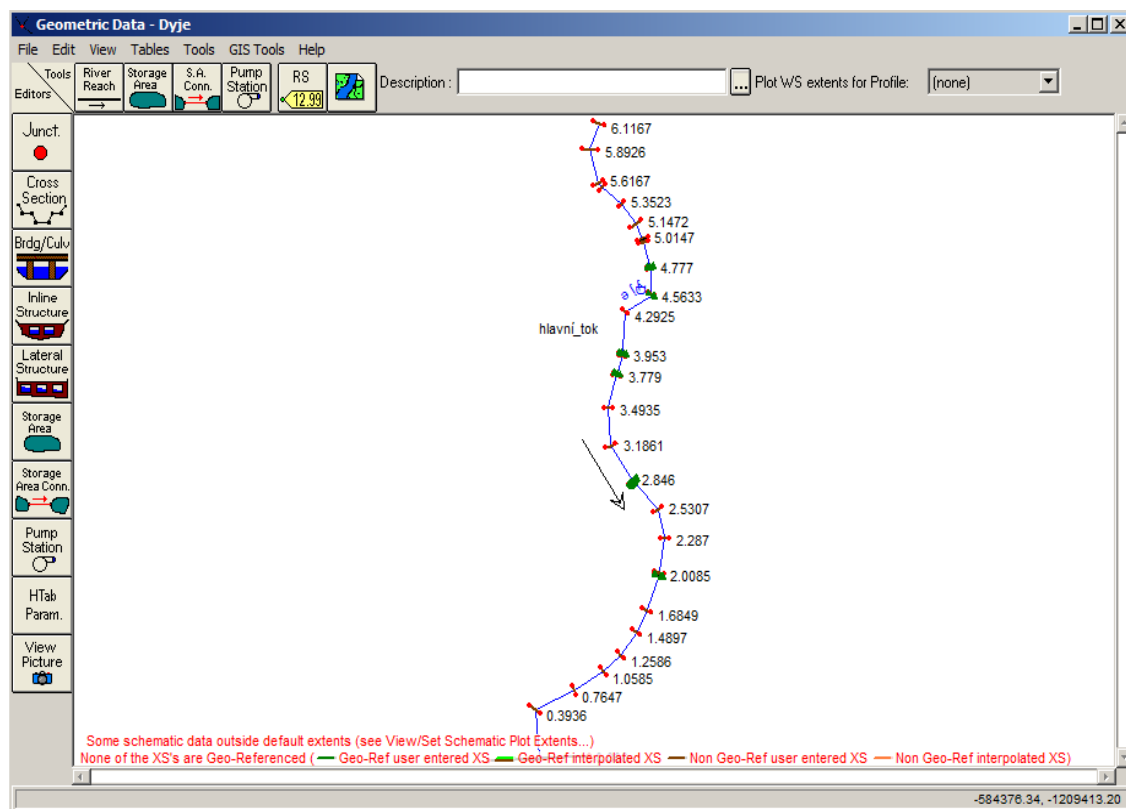
Obr. 6.5 Příčný řez jezem



Rozměry jezu jsou: šířka přelivné hrany 1m a výška jezu 2,45 m.

Po zadání dat je koryto se všemi profily vykresleno v geometrických datech, tak jak je uvedeno na obrázku 6.6.

Obr. 6.6 Situace toku



Podmínky

Po zadání geometrických dat toku a umístění objektů se přechází do výpočtové části. Pro provedení výpočtu je zapotřebí určit okrajové podmínky. Jejich formulování závisí na volbě režimu výpočtu (ustálené a neustálené proudění)

Ustálené proudění

Ustálené proudění je určeno jednou hodnotou v obou závěrových profilech říčního úseku. Pro model je zvolen návrhový průtok Q a sklon koryta i . Podmínky jsou zadány ve všech profilech, kde se bude přidávat bodové znečištění. Pro modelovaný úsek volíme tři různé scénáře ustáleného proudění, kde Q_n značí n -tý průtok a i sklon.

V následujícím obrázku je znázorněno zadání do programu HEC-RAS 4.0

Obr. 6.7 Scénáře ustáleného proudění

Flow Change Location				Profile Names and Flow Rates	
	River	Reach	RS	PF 1	
1	Dyje	hlavní_tok	6.1167	41.7	
2	Dyje	hlavní_tok	4.5633	41.7	
3	Dyje	hlavní_tok	2.5307	41.7	

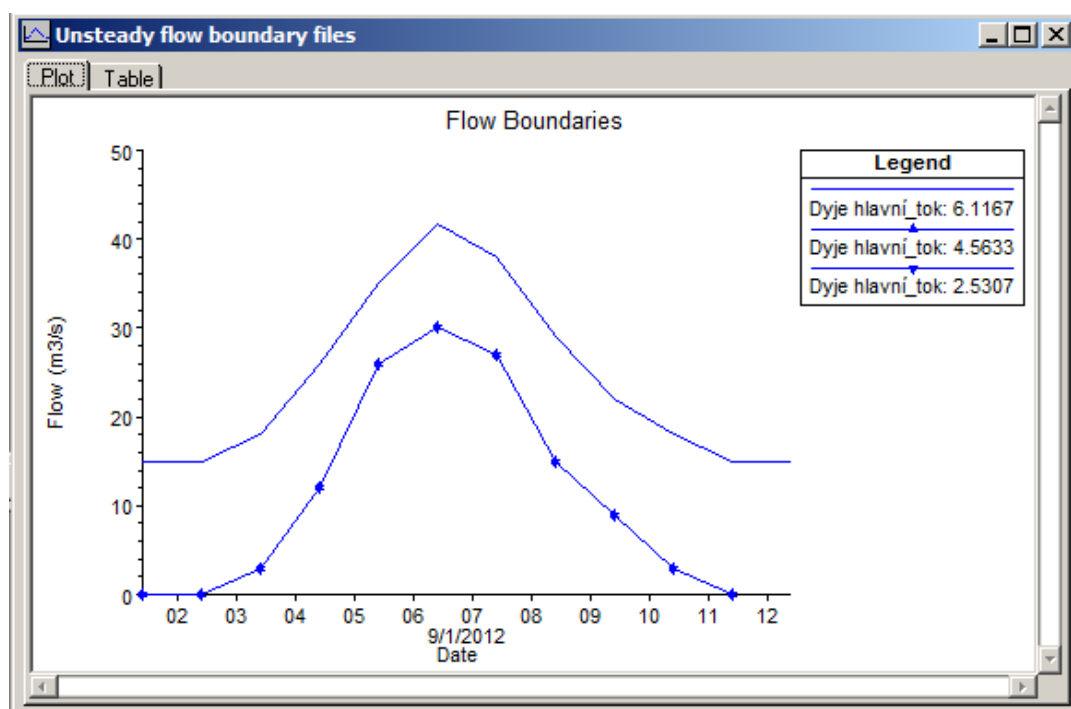
Po zadání okrajových podmínek se může přejít k výpočtu. Výstupem výpočtu jsou příčné profily, podélný profil (obr.6.15.) a numerické výpočty (obr. 6.16).

Neustálené proudění

U neustáleného proudění jsou podmínky určeny:

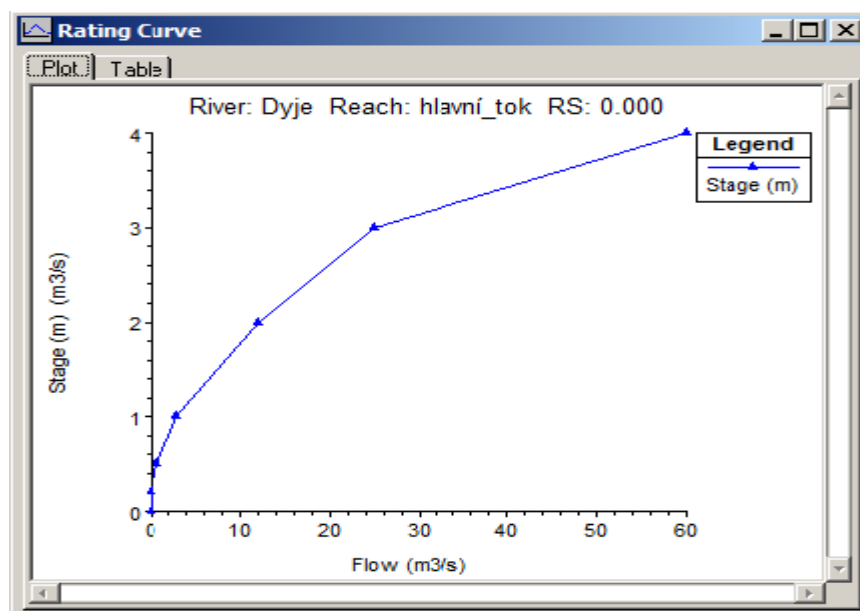
- hydrogramy toku a přítoků - horní okrajová podmínka(obr.6.8.)
- Q-h křivkou – dolní okrajová podmínka (obr.6.9.)

Obr. 6.8 Hydrogramy přítoků



Graf znázorňuje hydrogram přítoků. Na svislé ose je průtok v m^3/s a na vodorovné délka v metrech.

Obr. 6.9 Q-h křivka

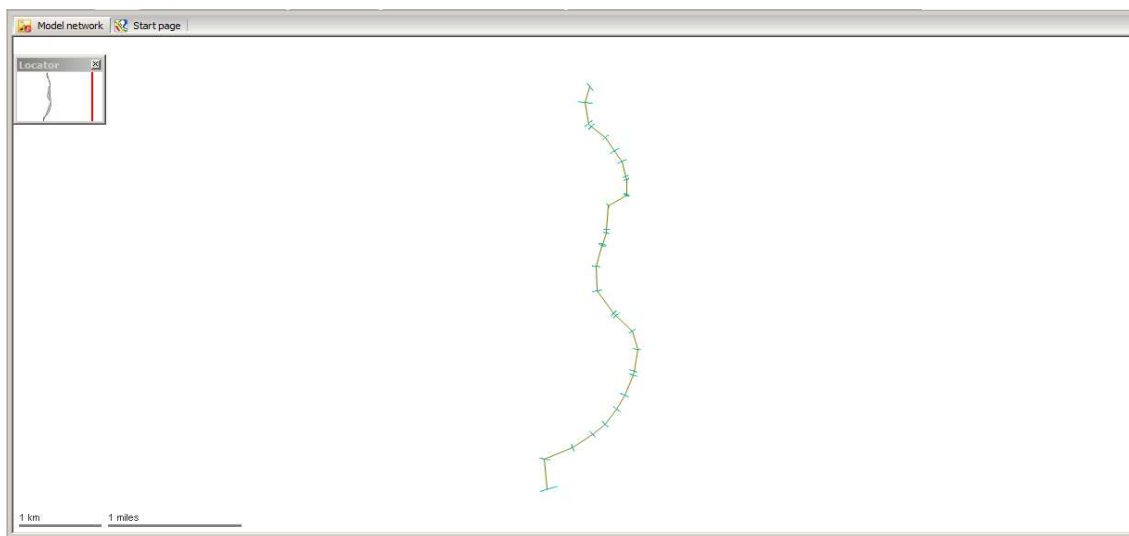


Graf znázorňuje Q-h křivku. Na svislé ose je výška hladiny a na vodorovné průtok

6.1.2 InfoWorks ICM

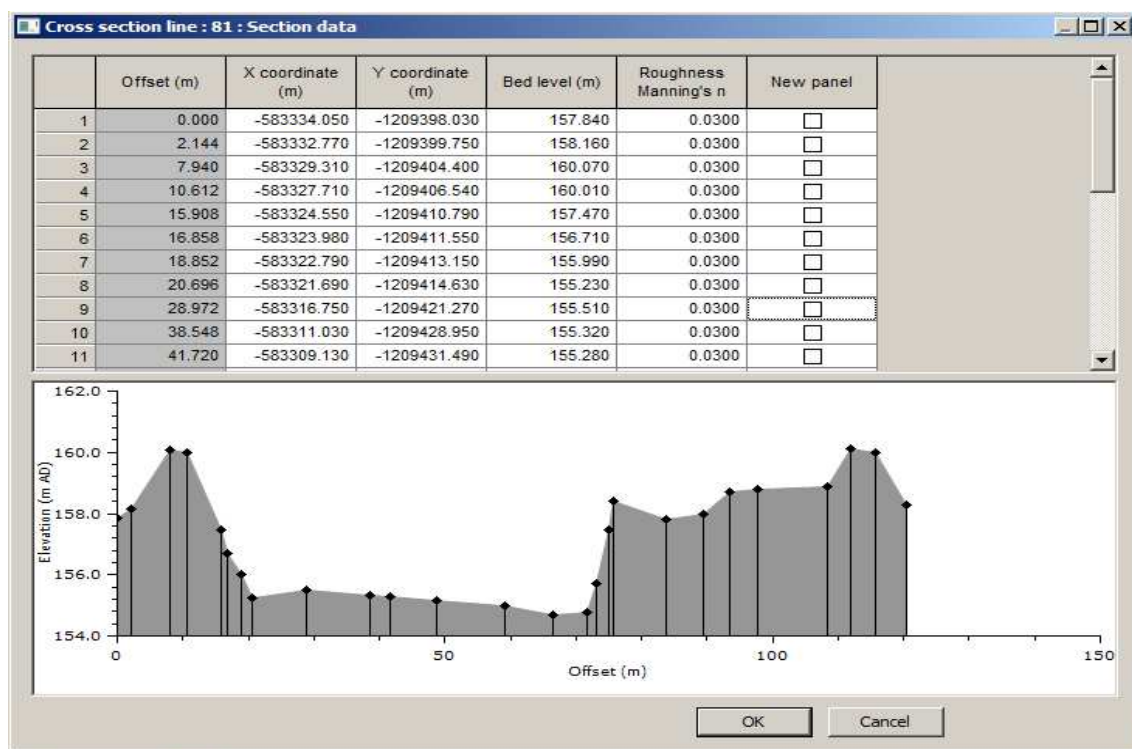
InfoWorks je na vkládání geometrických vlastností náročnější než HEC-RAS. Prvním krokem je vytvoření hlavní databáze. Hlavní databáze ukládá veškerá data a informace zadaných do sítě. Databáze v ICM mohou být samostatné nebo součástí skupiny. Druhým je vytvoření modelové skupiny, která ukládá všechno modelování a simulace dat. Dále lze vytvořit modelovou síť, ve které vkládáme souřadnicové podkladů a následně vytvoření daného koryta. Máme dva způsoby, jak vymodelovat tok. První je importovat přichystaná data ve formátu CSV, nebo ruční vkládání jednotlivých součástí toku. Pro model byla využita druhá možnost. Nejdříve je třeba natrasovat příčné profily trasovací čarou a doplníme hodnoty profilu. Vyplníme X a Y souřadnice, nadmořskou výšku bodu a Manningův součinitel. [4]

Obr. 6.10 Osa toku



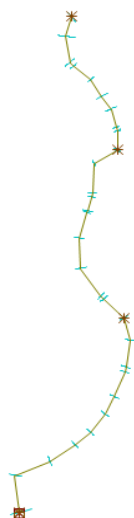
Po vynesení všech plánovaných profilů vyneseme spojovací čáru přes všechny profily a je vytvořena osa toku.

Obr. 6.11 Příčný profil



Následně je určen nátok do koryta, přítoky a odtok s koryta. Nátok a přítoky jsou určeny zlomovým bodem, u kterého musí být správně popsany horní a dolní okraj. Odtok je určený bodem odtokovým a čarou uživatelského ovládání, kde zadáme Q-h křivku.

Obr. 6.12 Výpočtové uzly



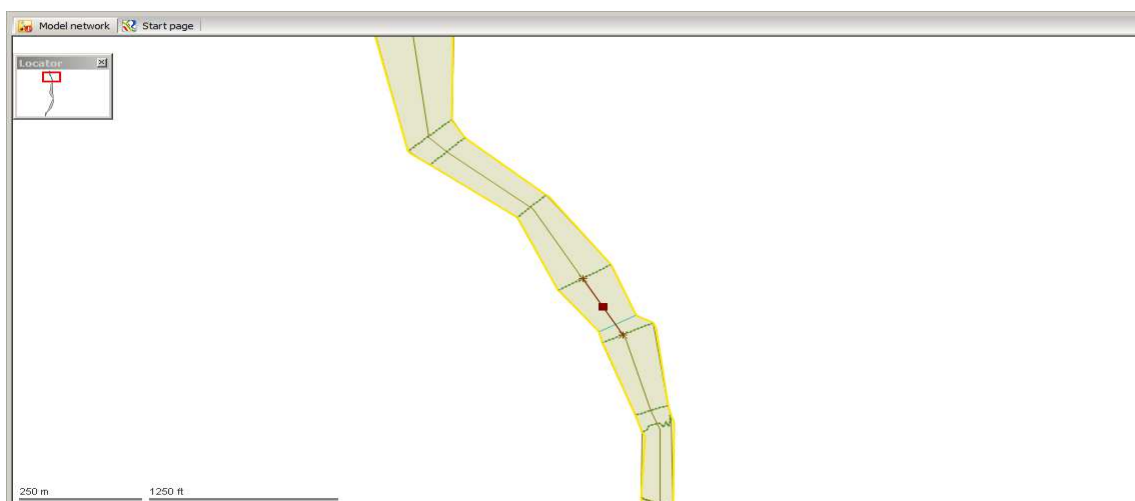
Všechny čáry jsou stanoveny jako stavební úsek, při nichž jsou přidány břehy, kterými určíme hranici až do konce toku.

Obr. 6.13 Konečná fáze geometrie toku



Dále následuje zadávání objektů. Mosty a jezy jsou zadávány obdobně jako v HEC-RAS, kdy se objekt umístí mezi 2 blízké profily, které jsou pro objekt odděleny zlomovými body.

Obr. 6.14 Jez



6.2 VÝPOČTY

Definice scénářů

Ustálené proudění

Výpočet je proveden při 3 průtocích a přítocích o nízkých koncentracích.

Průtoky: $Q_5 = 341,4 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_p = 41,7 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_a = 10 \text{ m}^3/\text{s}$ a přítoky $Q = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$

Koncentrace: BSK na vtoku 6 mg/l, na prvním přítoku 8 mg/l a na druhém přítoku 7 mg/l

Dusík na vtoku 2 mg/l, na prvním přítoku 4,6 mg/l a na druhém přítoku 4,3 mg/l

Neustálené proudění

Výpočet je proveden při 1 nižším průtoku a přítoky po odlehčení z kanalizace při srážce dané hydrogramem (obr.6.8) a koncentracemi.

Průtok: $Q_p = 41,7 \text{ m}^3/\text{s}$

Koncentrace: Koncentrace: BSK na vtoku 6 mg/l, na prvním přítoku 80 mg/l a na druhém přítoku 70 mg/l

Dusík na vtoku 2 mg/l, na prvním přítoku 46 mg/l a na druhém přítoku 43 mg/l

6.2.1 HEC-RAS

Hydraulické výpočty

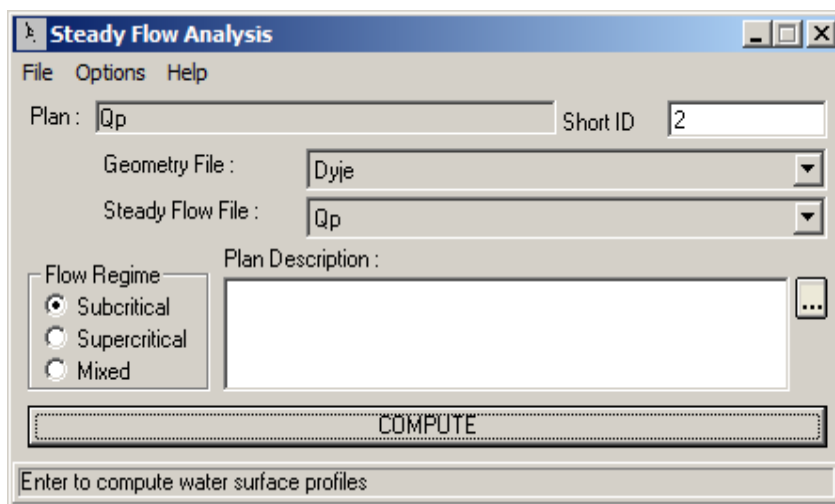
Po zadání geometrických dat může model provést výpočet. Jak je uvedeno v kap. 5.1 jsou provedeny výpočty pro ustálené i neustálené proudění. Na hlavním panelu jsou ikony, kterými se výpočty spouští. Výstupem jsou příčné profily, podélný profil (obr.6.15.) a numerické výpočty (obr. 6.16.). [3]

- Ustálené proudění

Výpočet je proveden přes ikonu *Analýza ustáleného proudění* na hlavním panelu. Prvním krokem je sestavení specifikace pro výpočet (plán). Plán definuje,

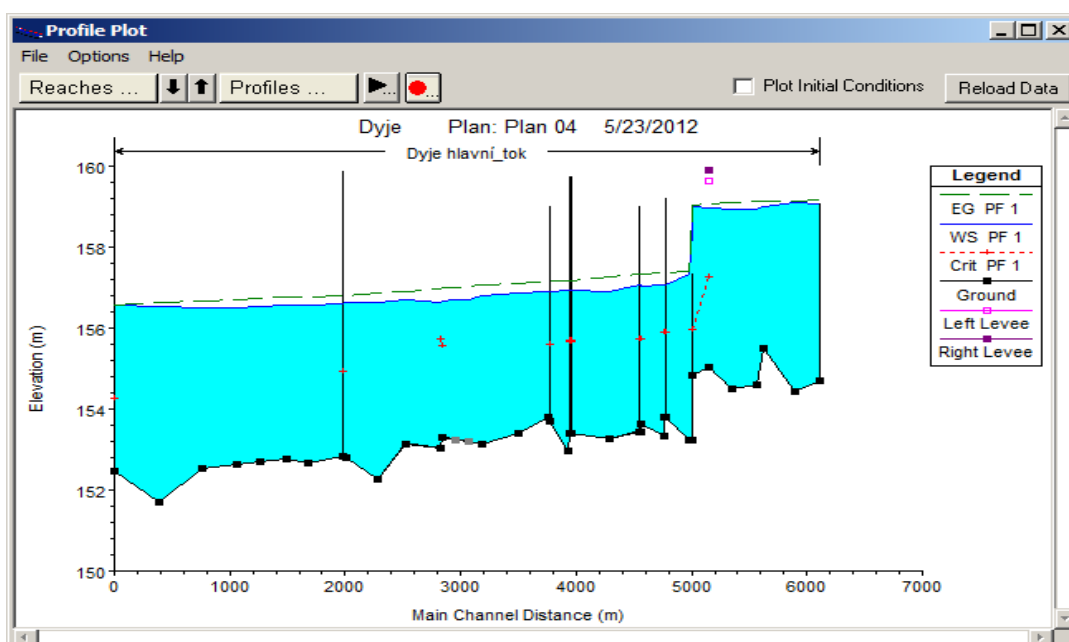
kteřa geometrie má být pouřita. Obsahuje popis, identifikátor pro výpočet, vybraný reřim proudění a mořnosti simulace.

Obr. 6.15 Dialog pro výpočet ustáleného proudění.



Na obrázku 6.16 je znázorněn průběh hladiny dle nastavených okrajových podmínek a vlivu jezu, který vzdouvá hladinu toku. Podélný profil odpovídá očekávanému průběhu. Pro vřechny prutoke bylo dosařeno podobných průběhů.

Obr 6.16 Podélný profil toku



Obr. 6.17 Výpočtová tabulka

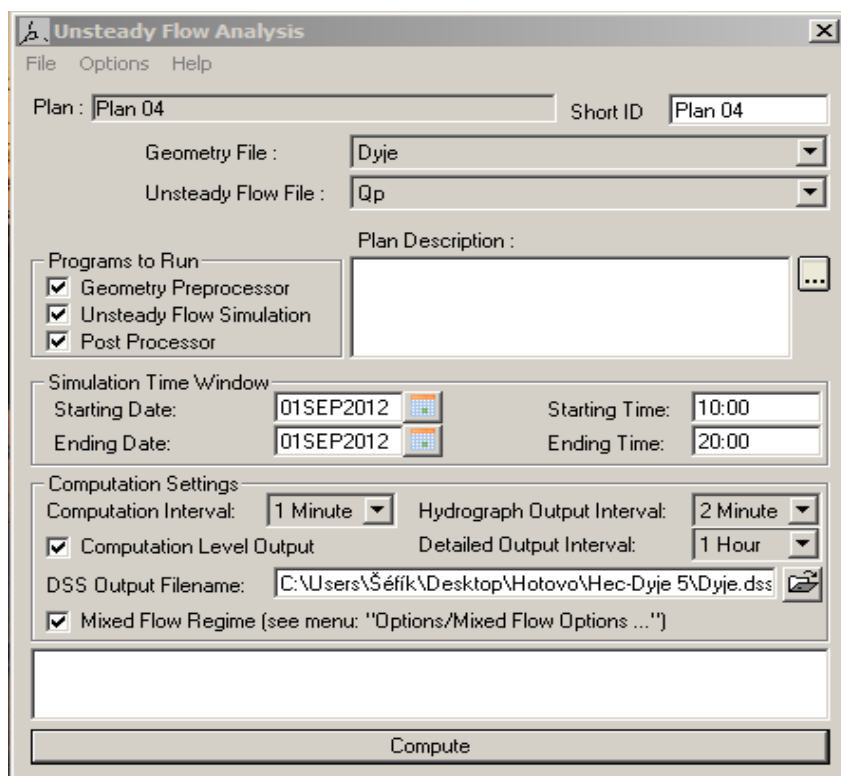
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
hlavní_tok	6.1167	PF 1	341.40	154.70	159.17		159.26	0.000049	1.32	262.49	104.50	0.26
hlavní_tok	5.8926	PF 1	341.40	154.44	159.19		159.24	0.000024	0.94	369.27	148.67	0.18
hlavní_tok	5.6167	PF 1	341.40	155.51	159.12		159.22	0.000056	1.43	239.75	93.78	0.28
hlavní_tok	5.5639	PF 1	341.40	154.60	159.04		159.21	0.000081	1.80	189.23	64.96	0.34
hlavní_tok	5.3523	PF 1	341.40	154.50	159.03		159.19	0.000067	1.79	192.71	64.03	0.31
hlavní_tok	5.1472	PF 1	341.40	155.03	159.08		159.16	0.000043	1.20	287.91	116.50	0.24
hlavní_tok	5.0147	PF 1	341.40	157.30	158.82		159.12	0.000354	2.42	141.08	93.76	0.63
hlavní_tok	5.0127	PF 1	341.40	154.85	159.00	155.97	159.04	0.000013	0.88	387.91	93.79	0.14
hlavní_tok	5.0117		Inl Struct									
hlavní_tok	4.9845	PF 1	341.40	153.22	157.34		157.40	0.000026	1.12	303.47	86.16	0.19
hlavní_tok	4.777	PF 1	341.40	153.79	157.06	155.90	157.37	0.000169	2.46	138.89	48.97	0.46
hlavní_tok	4.776		Bridge									
hlavní_tok	4.769	PF 1	341.40	153.79	157.06	155.90	157.37	0.000169	2.46	138.80	48.97	0.46
hlavní_tok	4.7625	PF 1	341.40	153.34	157.06		157.37	0.000156	2.46	138.58	46.74	0.46
hlavní_tok	4.5633	PF 1	341.40	153.65	157.03		157.33	0.000181	2.45	139.59	55.42	0.49
hlavní_tok	4.555	PF 1	341.40	153.45	157.05	155.74	157.32	0.000151	2.32	147.39	55.15	0.45
hlavní_tok	4.554		Bridge									
hlavní_tok	4.551	PF 1	341.40	153.45	157.05	155.74	157.32	0.000151	2.32	147.35	55.15	0.45
hlavní_tok	4.2925	PF 1	341.40	153.27	156.89		157.26	0.000200	2.72	125.54	43.46	0.51
hlavní_tok	3.953	PF 1	341.40	153.41	156.91	155.68	157.18	0.000130	2.27	150.59	56.50	0.43
hlavní_tok	3.952		Bridge									
hlavní_tok	3.945	PF 1	341.40	153.41	156.91	155.68	157.17	0.000130	2.27	150.50	56.50	0.43
hlavní_tok	3.9269	PF 1	341.40	152.97	156.92		157.17	0.000118	2.20	155.47	50.31	0.40
hlavní_tok	3.779	PF 1	341.40	153.70	156.88	155.61	157.15	0.000124	2.28	149.96	53.84	0.42
hlavní_tok	3.778		Bridge									
hlavní_tok	3.775	PF 1	341.40	153.70	156.88	155.61	157.15	0.000124	2.28	149.92	53.84	0.42
hlavní_tok	3.7633	PF 1	341.40	153.80	156.89		157.14	0.000141	2.24	152.23	56.53	0.44
hlavní_tok	3.4935	PF 1	341.40	153.39	156.86		157.10	0.000136	2.20	154.89	58.17	0.43
hlavní_tok	3.1861	PF 1	341.40	153.13	156.79		157.06	0.000160	2.30	148.14	58.99	0.46
hlavní_tok	2.846	PF 1	341.40	153.31	156.66	155.56	156.99	0.000204	2.53	135.04	58.17	0.52
hlavní_tok	2.842	PF 1	341.40	153.31	156.66	155.56	156.99	0.000204	2.53	134.98	58.15	0.52
hlavní_tok	2.829	PF 1	341.40	153.02	156.63	155.73	156.98	0.000234	2.63	129.68	62.41	0.55
hlavní_tok	2.823	PF 1	341.40	153.02	156.63	155.73	156.98	0.000234	2.63	129.59	62.40	0.55
hlavní_tok	2.5307	PF 1	341.40	153.15	156.69		156.89	0.000098	1.96	174.03	60.75	0.37
hlavní_tok	2.287	PF 1	341.40	152.27	156.63		156.86	0.000124	2.12	160.80	58.73	0.41
hlavní_tok	2.0085	PF 1	341.40	152.79	156.64		156.82	0.000087	1.86	183.45	62.89	0.35
hlavní_tok	1.981	PF 1	341.40	152.84	156.59	154.93	156.81	0.000111	2.06	165.75	64.28	0.40
hlavní_tok	1.980		Bridge									
hlavní_tok	1.975	PF 1	341.40	152.84	156.59	154.93	156.81	0.000111	2.06	165.69	64.27	0.40
hlavní_tok	1.6849	PF 1	341.40	152.68	156.58		156.77	0.000096	1.95	175.46	60.80	0.37
hlavní_tok	1.4897	PF 1	341.40	152.78	156.56		156.75	0.000088	1.97	173.29	54.89	0.35
hlavní_tok	1.2586	PF 1	341.40	152.71	156.55		156.73	0.000082	1.88	182.95	68.35	0.34
hlavní_tok	1.0585	PF 1	341.40	152.64	156.50		156.71	0.000108	2.02	170.45	71.26	0.39
hlavní_tok	0.7647	PF 1	341.40	152.54	156.48		156.67	0.000088	1.92	178.19	58.95	0.35
hlavní_tok	0.3936	PF 1	341.40	151.71	156.53		156.62	0.000045	1.27	268.99	101.53	0.25
hlavní_tok	0.000	PF 1	341.40	152.48	156.56	154.25	156.58	0.000050	0.56	608.19	857.51	0.21

Obr. 6.17 je tabulka, která nám ukazuje výsledky zadaných hodnot a vybrané vstupní hodnoty. Mezi ně patří: průtok Q_5 (Q Total), kritické hloubky (Crit. W.S.), staničení (River Sta.), rychlosti (Vel Chnl) a další hodnoty jednotlivých profilů.

- Neustálené proudění

Tok vody je řízen fyzikálními zákony, proto pro výpočet neustáleného proudění HEC-RAS používá rovnici kontinuity (3.2) a rovnici hybnosti (3.3). Výpočet se provede pomocí ikony *Analýza nerovnoměrného proudění* na hlavním panelu. Stejně jako u ustáleného proudění je potřeba vytvořit plán. Ten určuje, jaká geometrická data neustáleného proudění mají být použita. Uživatel má možnost výběru komponentů (podprogramů) ke spuštění. Jedná se o vyhodnocení geometrie, simulaci neustáleného proudění a post processing výstupních dat. [3]

Obr. 6.18 Dialog pro výpočet neustáleného proudění.



Jakost vody

Program nabízí pro řešení jakosti vody možnost zadávání jednak údajů jakosti vody a kalibračních hodnot. Výpočet jakosti vody nabízí, kromě vlastní simulace, i možnosti kontroly vstupů a průběhu výpočtů

Funkce jsou umístěny v navigačním panelu *Údaje o jakosti vody*. Tato funkce nabízí nastavení okrajových podmínek, počátečních podmínek, hodnotu disperzního koeficientu a parametry živin. Dále jsou nastaveny úseky, ve kterých je počítáno znečištění s minimální délkou 100 m.

Úkol je stanovení jakosti vody, při různých scénářích průtoků a typu proudění. Nejprve porovnáváme koncentrace látek v ustáleném proudění při 3 průtocích: $Q_5 = 341,4 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_p = 41,7 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_a = 10,0 \text{ m}^3/\text{s}$

- Ustálené proudění

Časové řady jsou stanoveny pro každý modelovaný úsek, kde tok vstupuje do systému (hlavní vstup do toku a boční přítoky).

– Okrajové podmínky:

U přítoků jsou podmínky nastaveny v místě hranic přítoku. Pro nastavení okrajových podmínek na počátku toku ve staničení 6,1167 km a na přítocích ve staničení 4,563 a 2,531 km uvažujeme konstantní hodnoty u všech typů znečištění. Přítoky mají hodnotu $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Jsou nastaveny parametry pro teplotu, řasy, BSK, N, NH_4 , NO_3 , NO_2 a P.

Obr. 6.19 Okrajové podmínky

RS	Water Temperature	Algae	Dissolved Oxygen	Carbonaceous BOD
6.1167	Constant 18 Celsius	Constant 0.5 mg/l	Constant 10 mg/l	Constant 6 mg/l
4.7625 - 4.5633	Constant 20 Celsius	Constant 1.5 mg/l	Constant 12 mg/l	Constant 8 mg/l
2.823 - 2.5307	Constant 19 Celsius	Constant 1.2 mg/l	Constant 13 mg/l	Constant 7 mg/l

Organic Nitrogen	Ammonium Nitrogen	Nitrite Nitrogen(NO_2)	Nitrate Nitrogen(NO_3)	Organic Phosphorus
Constant 2 mg/l	Constant 1.2 mg/l	Constant 0.1 mg/l	Constant 0.15 mg/l	Constant 0.5 mg/l
Constant 4.6 mg/l	Constant 2.7 mg/l	Constant 0.2 mg/l	Constant 0.5 mg/l	Constant 0.7 mg/l
Constant 4.3 mg/l	Constant 2.4 mg/l	Constant 0.19 mg/l	Constant 0.45 mg/l	Constant 0.6 mg/l

– Počáteční podmínky:

Na každém přítoku jsou nastaveny počáteční podmínky. Počáteční podmínky zadáme ve staničení na začátku toku 6,117 km a dále pro určení bodového znečištění ve staničeních 4,5637 a 2,531. Bodové znečištění je malé znečištění které je větší, než v řece nad bodovým znečištěním.

Obr. 6.20 Počáteční podmínky

RS	Water Temperature[C]	Algae(mg/l)	Dissolved Oxygen(mg/l)	Carbonaceous BOD(mg/l)
6.1167	18	0.5	10	6
4.5633	20	1.5	12	8
2.5307	19	1.2	13	7

Organic Nitrogen(mg/l)	Ammonium Nitrogen(mg/l)	Nitrite Nitrogen(NO ₂)(mg/l)	Nitrate Nitrogen(NO ₃)(mg/l)	Organic Phosphorus(mg/l)
2	1.2	0.1	0.15	0.5
4.6	2.7	0.2	0.5	0.7
4.3	2.4	0.19	0.45	0.6

- Disperzní koeficient:

Disperze je příčný nebo podélný rozptyl rozpuštěné látky způsobený turbulentní povahou proudění. V našem toku jsme zadali disperzní koeficient na počátku toku ve staničení 6,117 km a má hodnotu 50 m²/s. Může být zařazen jeden nebo více disperzních koeficientů pro dílčí úseky.

- Parametry objemových změn:

Další součástí je zvolení proměnlivosti živin. Spojitost mezi těmito složkami je ovládána uživatelským nastavením rychlostních konstant. Proměnlivost je určena koeficienty, které jsou přednastavené, ale některé hodnoty pozměněny pro reálnost řešení.

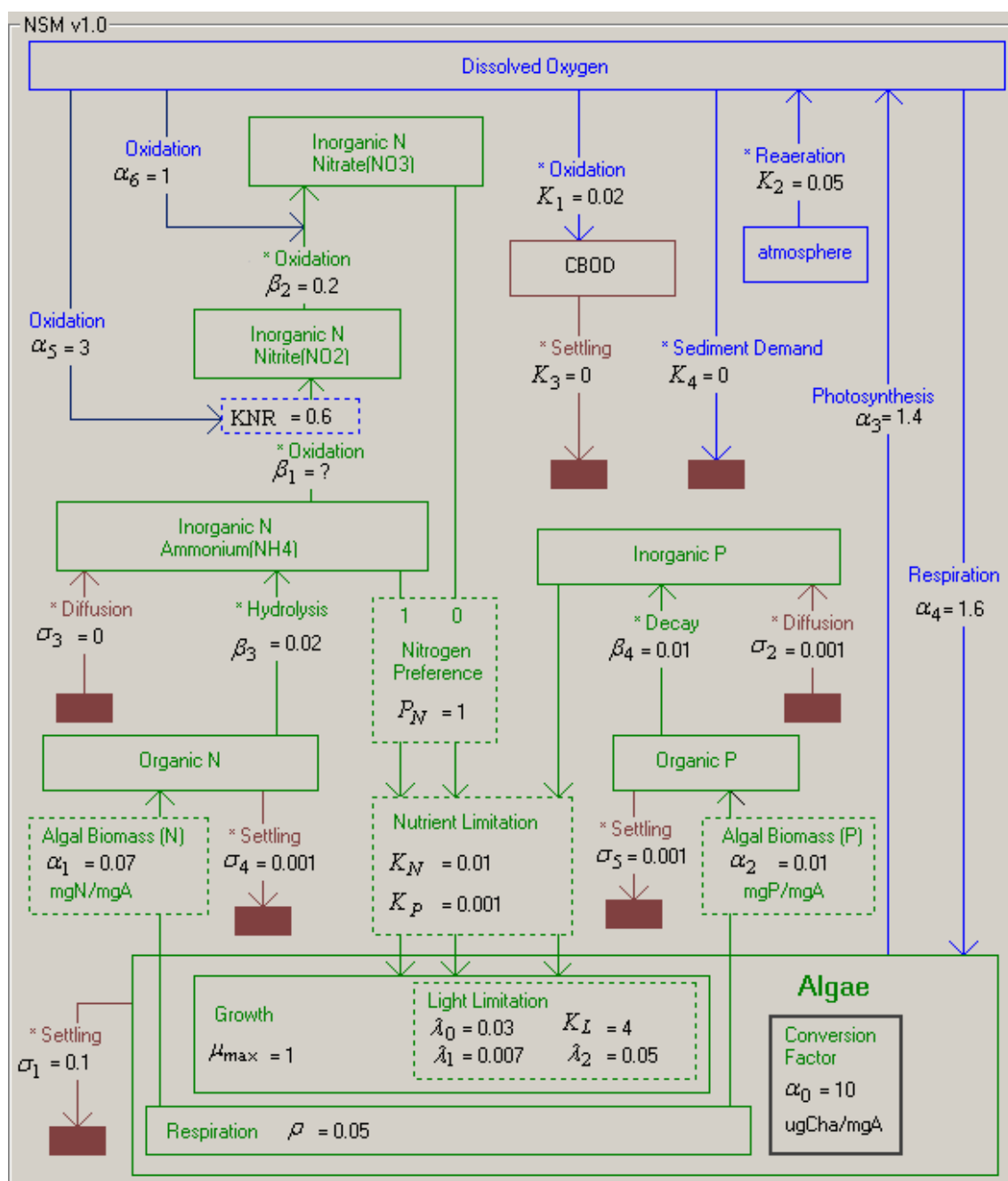
Např.

K_1 – reaerační přenosová rychlost [1/den]

- pohybuje se v hodnotách od 0 do 1 (nastavená hodnota K_1 pro BSK₅ = 0,05)
- reaerace je proces výměny kyslíku mezi vzduchem a vodou

Na obrázku (obr. 6.21) jsou schematicky vysvětleny návaznosti a hodnoty jednotlivých parametrů.

Obr. 6.21 Parametry objemových změn



Po zadání výpočtových parametrů je zadán časový průběh a přes funkci *analýza jakosti vody* je proveden výpočet. Před začátkem spuštění simulace musí být kalibrován ustálený model proudění. [3]

- Neustálené proudění

- Okrajové podmínky:

U neustáleného proudění měníme pouze parametry přítoků.. Hodnoty jsou nastaveny vyšší, než u ustáleného proudění z toho důvodu, že do koryta ústí přítoky z dešťového odlehčovače při přívalovém dešti. Výpočty jsou pouze pro Q_p .

Obr. 6.22 Okrajové podmínky

RS	Water Temperature	Algae	Dissolved Oxygen	Carbonaceous BOD
6.1167	Constant 18 Celsius	Constant 0.5 mg/l	Constant 10 mg/l	Constant 6 mg/l
4.5633 - 4.555	Constant 20 Celsius	Constant 15 mg/l	Constant 120 mg/l	Constant 80 mg/l
2.5307 - 2.287	Constant 19 Celsius	Constant 12 mg/l	Constant 130 mg/l	Constant 70 mg/l

Organic Nitrogen	Ammonium Nitrogen	Nitrite Nitrogen(NO2)	Nitrate Nitrogen(NO3)	Organic Phosphorus
Constant 2 mg/l	Constant 1.2 mg/l	Constant 0.1 mg/l	Constant 0.15 mg/l	Constant 0.5 mg/l
Constant 46 mg/l	Constant 27 mg/l	Constant 2 mg/l	Constant 5 mg/l	Constant 7 mg/l
Constant 43 mg/l	Constant 24 mg/l	Constant 1.9 mg/l	Constant 45 mg/l	Constant 6 mg/l

6.2.2 InfoWorks ICM

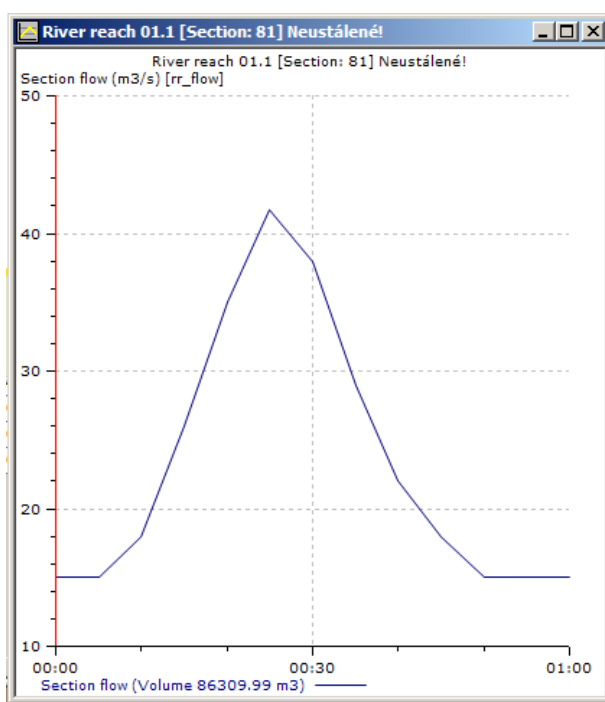
Hydraulické výpočty

Po zadání geometrii toku je třeba zadat okrajové podmínky. Ty jsou dány hydrogramy přítoků a Q-h křivkou. Přes funkci přítok z modelové skupiny je stanoven průtok v čase. Dle typu proudění jsou zadány hodnoty průtoků konstantní nebo hydrogramem. Zde je nutné správně nadefinovat popis místa, kde dochází k přítoku nebo nátoku. Následně je otevřen výpočtový panel, do kterého je vložena modelová síť a průtoky. V panelu je třeba stanovit časové parametry pro simulaci. [4]

Obr. 6.23 Okrajové podmínky

Model network Start page Qp neustálené				
	Time	01 (m3/s)	02 (m3/s)	03 (m3/s)
	SUB-EVENT 1			
	00::00:00	15.000000	0.000000	0.000000
	00::00:05	15.000000	0.000000	0.000000
	00::00:10	18.000000	10.000000	10.000000
	00::00:15	26.000000	18.000000	18.000000
	00::00:20	35.000000	26.000000	26.000000
	00::00:25	41.700000	30.000000	30.000000
	00::00:30	38.000000	28.000000	28.000000
	00::00:35	29.000000	23.000000	23.000000
	00::00:40	22.000000	18.000000	18.000000
	00::00:45	18.000000	11.000000	11.000000
	00::00:50	15.000000	0.000000	0.000000
	00::00:55	15.000000	0.000000	0.000000
	00::01:00	15.000000	0.000000	0.000000

Obr. 6.24 Hydrogram nátoku v čase



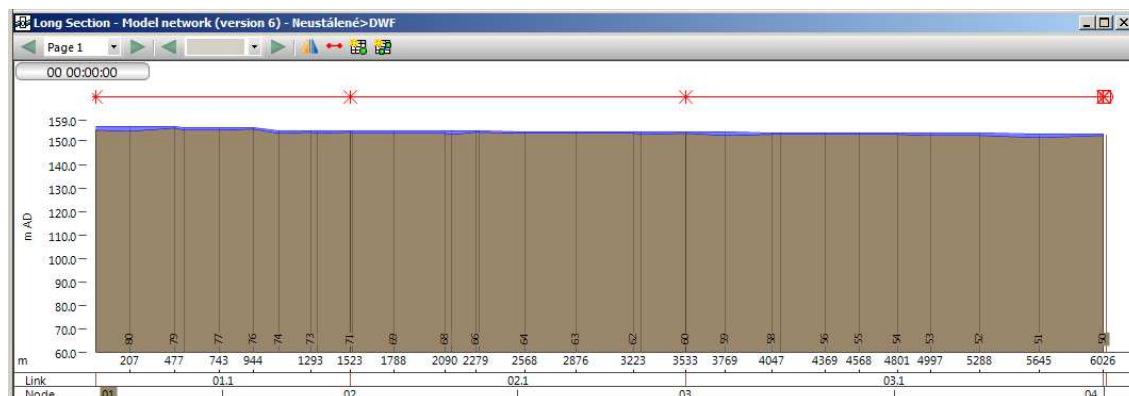
Po výpočtu stejně jako v HEC-RAS jsou jako výstupy podélný profil, výpočtové tabulky a grafy.

Obr. 6.25 Výpočetní panel

Obr. 6.26 Výpočtová tabulka

		DS depth (m)	DS flow (m ³ /s)	DS Froude number	DS velocity (m/s)	Hydraulic gradient	Surcharge state	US depth (m)	US flow (m ³ /s)	US Froude number	US velocity (m/s)	Infiltration loss (m ³ /s)	Lateral inflow (m ³ /s)	Volume (m ³)
►	00 00:00:00	0.444	14.99999	0.726	1.247	0.00011	0.09	0.673	15.00000	0.415	0.899	0.00000	0.00000	33245.7
	00 00:05:00	0.444	14.99999	0.726	1.247	0.00011	0.09	0.673	15.00000	0.415	0.899	0.00000	0.00000	33245.7
	00 00:10:00	0.525	13.48877	0.470	0.874	0.00010	0.10	0.735	21.79560	0.507	1.156	0.00000	0.00000	34629.8
	00 00:15:00	0.607	12.99060	0.335	0.679	0.00010	0.10	0.803	27.90079	0.546	1.309	0.00000	0.00000	38096.6
	00 00:20:00	0.706	14.69164	0.279	0.620	0.00010	0.12	0.900	37.63291	0.597	1.510	0.00000	0.00000	43787.2
	00 00:25:00	0.798	19.63102	0.291	0.699	0.00011	0.13	1.017	50.08902	0.632	1.699	0.00000	0.00000	51700.5
	00 00:30:00	0.882	29.31459	0.357	0.913	0.00012	0.14	1.115	60.20078	0.632	1.798	0.00000	0.00000	61041.2
	00 00:35:00	0.962	42.11206	0.434	1.171	0.00009	0.15	1.150	59.78389	0.592	1.715	0.00000	0.00000	68481.2
	00 00:40:00	1.016	50.63947	0.470	1.311	0.00006	0.15	1.128	52.21692	0.537	1.537	0.00000	0.00000	71164.7
	00 00:45:00	1.017	52.53796	0.488	1.360	0.00003	0.14	1.069	41.48069	0.475	1.313	0.00000	0.00000	69477.9
	00 00:50:00	0.955	50.33469	0.526	1.412	0.00001	0.13	0.974	28.62557	0.392	1.030	0.00000	0.00000	64332.7
	00 00:55:00	0.902	42.85844	0.500	1.296	0.00000	0.12	0.910	23.66125	0.368	0.935	0.00000	0.00000	58237.1
	00 01:00:00	0.842	36.30079	0.484	1.202	0.00000	0.11	0.852	20.46692	0.358	0.886	0.00000	0.00000	52980.1

Obr. 6.27 Podélný profil



Jakost vody

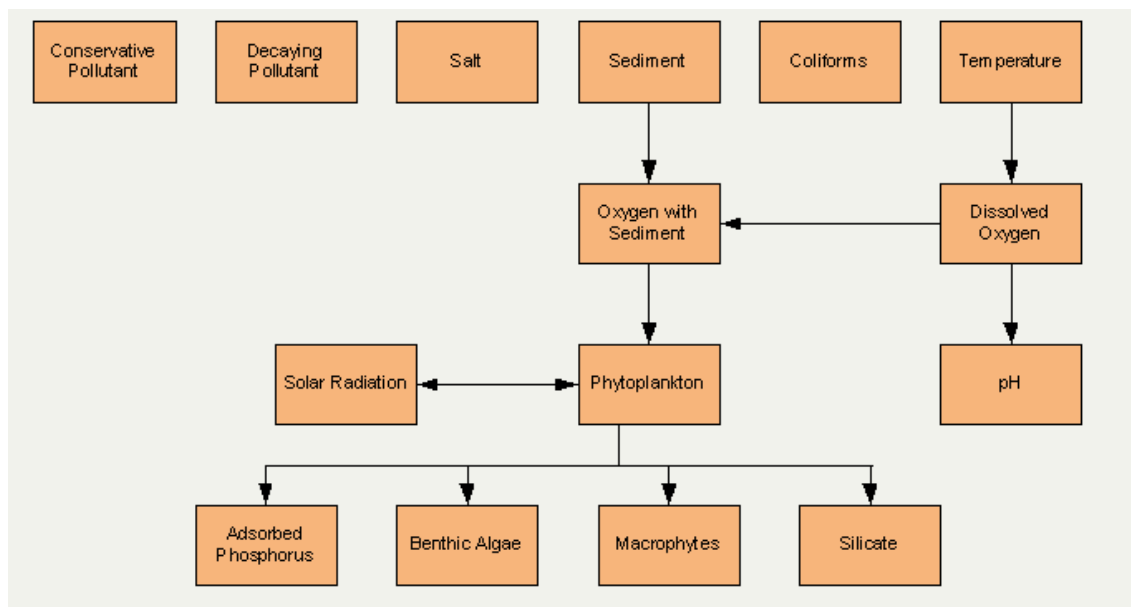
Počítačový program slouží k výpočtům kvality vody v modelu. Výpočty jsou odděleny od výpočtů hydraulických. InfoWorks pomocí koncentrace vypočítá konečný rozdíl přiblížení disperzní rovnicí (3.4). Program je schopen modelovat celou řadu proměnných jakostí vody a procesů najednou. Znečišťující proces závisí na zadání počátečních podmínek a inicializace simulace by měla být provedena pro přiměřenou dobu.

Jakost se zadává do funkce grafového znečištění. Tato funkce se nachází v modelové skupině. Zde se zadávají typy a množství znečištění v čase. Pro model je řešeno znečištění BSK (BOD) a organickým dusíkem (TKD). Množství znečištění volíme úplně stejné, jako v HEC-RAS. Rozložení znečišťujících látek vypočítám dle rovnice prvního řádu (3.5).

Obr. 6.28 Počáteční podmínky jakosti u BSK

	Time	01 (mg/l)	02 (mg/l)	03 (mg/l)
	SUB-EVENT 1			
	00::00:00	6.000000	80.000000	70.000000
	00::00:05	6.000000	80.000000	70.000000
	00::00:10	6.000000	80.000000	70.000000
	00::00:15	6.000000	80.000000	70.000000
	00::00:20	6.000000	80.000000	70.000000
	00::00:25	6.000000	80.000000	70.000000
	00::00:30	6.000000	80.000000	70.000000
	00::00:35	6.000000	80.000000	70.000000
	00::00:40	6.000000	80.000000	70.000000
	00::00:45	6.000000	80.000000	70.000000
	00::00:50	6.000000	80.000000	70.000000
	00::00:55	6.000000	80.000000	70.000000
	00::01:00	6.000000	80.000000	70.000000

Obr. 6.29 Závislost procesů a proměny

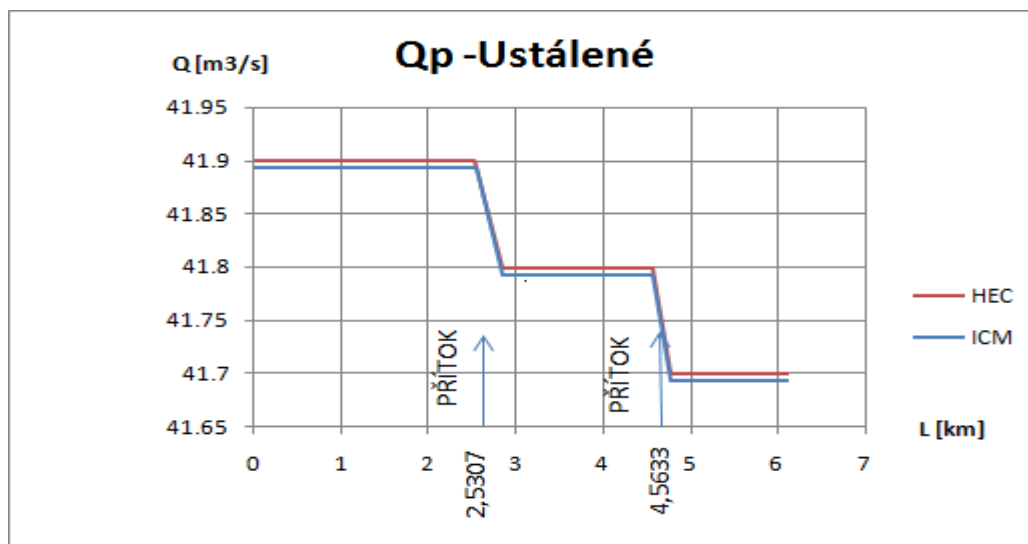


6.3 VÝSLEDKY A SROVNÁNÍ

Průtoky

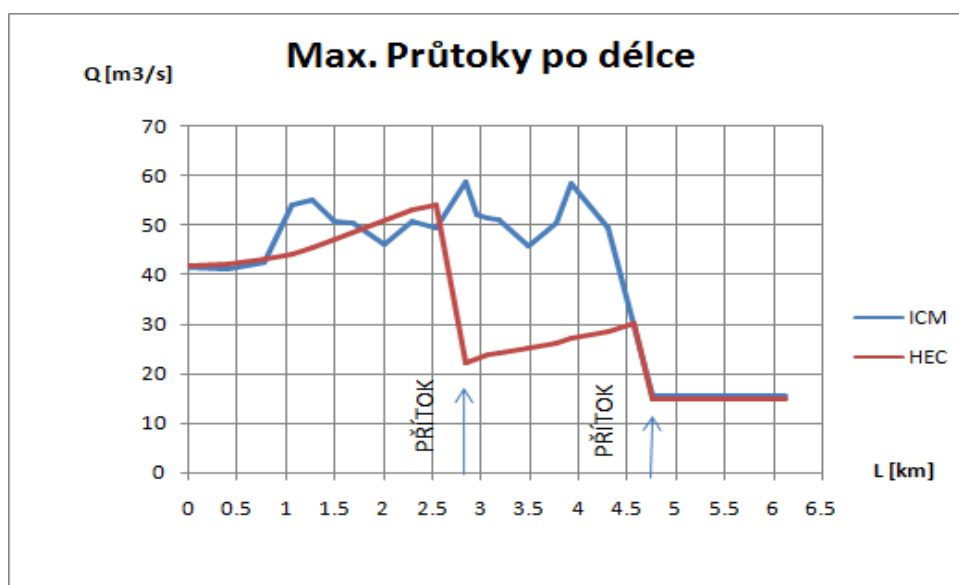
Ustálené proudění o průtoku $41,7 \text{ m}^3/\text{s}$ se 2 přítoky o průtoku $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$.

Obr. 6.30 Průtoky ustáleného proudění



Maximální průtoky při neustáleném proudění se 2 přítoky dané hydrogramem zvyšují.

Obr. 6.31 Průtoky neustáleného proudění

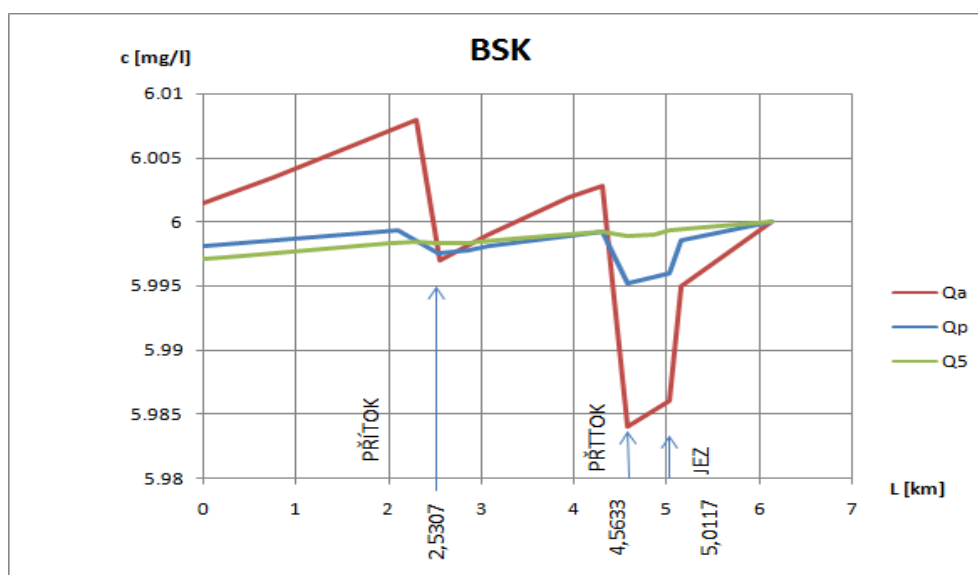


V případě ustáleného proudění byly stanoveny přibližně stejné hodnoty průtoků. V případě využití softwarového prostředku ICM došlo buďto k chybnému výpočtu zadání vstupních parametrů nebo se jedná o numerickou nestabilitu výpočtu (obr. 6.31).

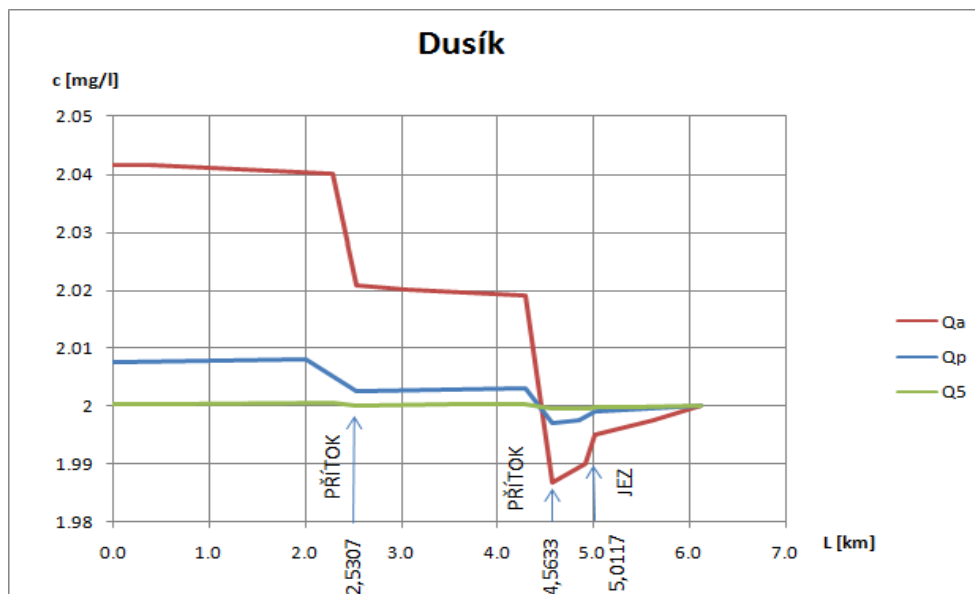
Koncentrace

První porovnání je provedeno v HEC-RAS, kde se stanoví množství koncentrace látek BSK dle rovnice (3.6) a dusíku při 3 průtocích v ustáleném proudění: $Q_5 = 341,4 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_p = 41,7 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_a = 10 \text{ m}^3/\text{s}$. Z grafů je patrné, že čím nižší průtok, tak tím je vliv odbourávací a samočistící schopnosti toku výraznější. Při vyšších průtocích je vliv přítoků méně významný a nárůst koncentrace znečišťujících látek malý. Významný vliv na snížení koncentrace má jez, u kterého dochází k provzdušňování vody.

Obr. 6.32 Porovnání koncentrace BSK při 3 průtocích.

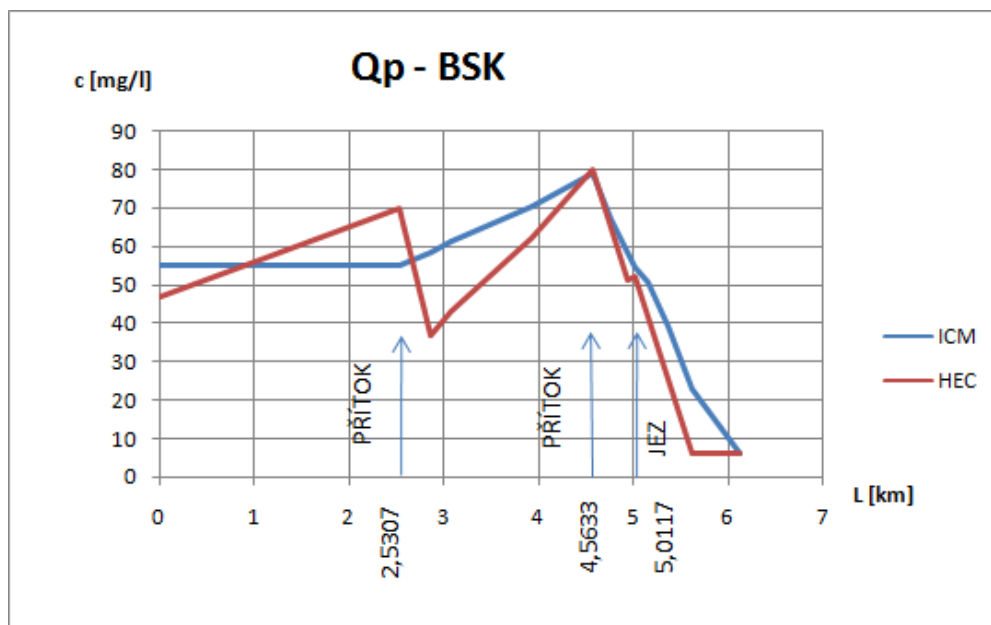


Obr. 6.33 Porovnání koncentrace N při 3 průtocích.

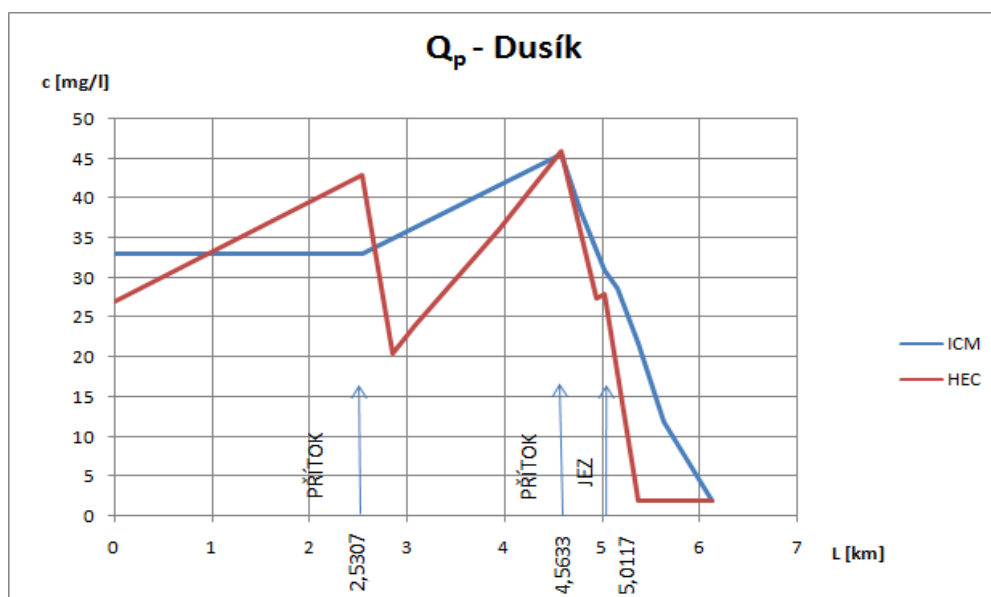


Porovnání vstupních koncentrací ukazatelů BSK a N v obou softwarech HEC-RAS 4.0 a InfoWorks ICM 2.5. je znázorněno na obrázcích 6.34 a 6.35. Pro porovnání je zvolen průtok při neustáleném proudění $Q_p = 41.7 \text{ m}^3/\text{s}$. V programu InfoWorks jsou grafy zřejmě vlivem špatného nastavení výpočtu odlišné, rychlost objemových změn se také výrazně liší, od výstupů v programu HEC-RAS.

Obr. 6.34 Porovnání koncentrace BSK



Obr. 6.35 Porovnání koncentrace N

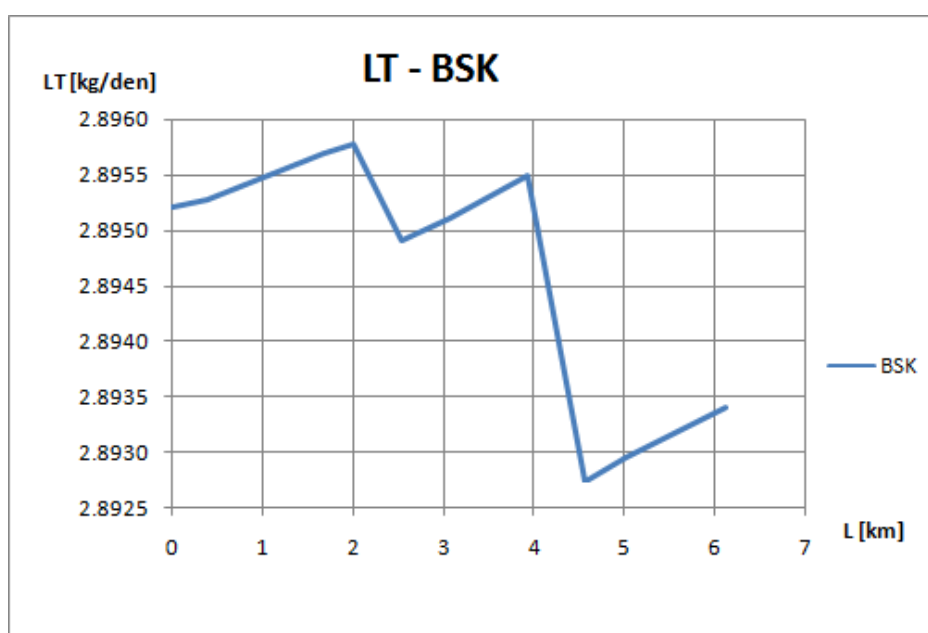


Látkový tok

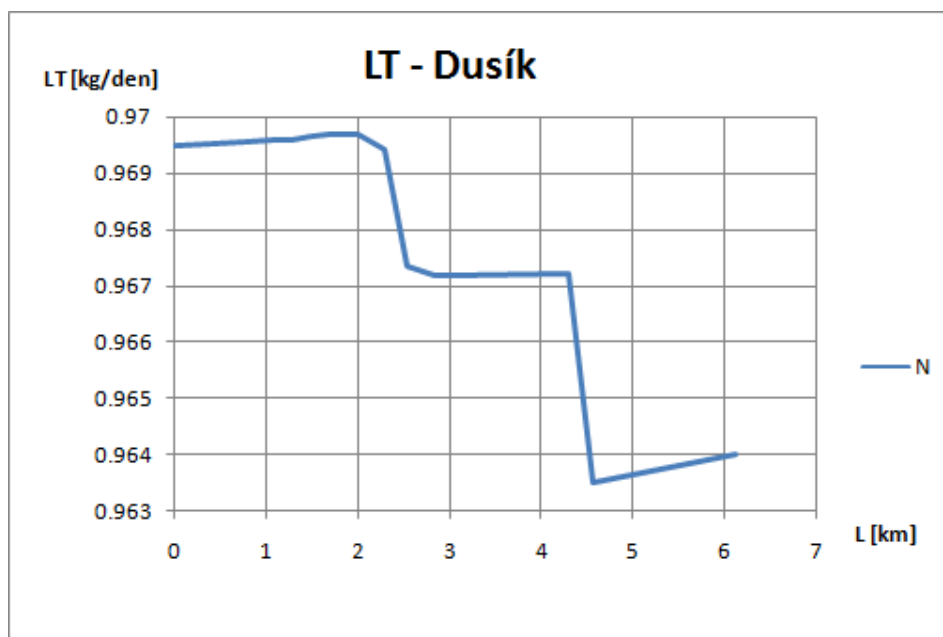
Látkový tok vyjadřuje průtok hmotnosti látky za čas. Srovnání bylo provedeno rovněž pro látkový tok, ovšem vzhledem k nesourodivým výsledkům při použití ICM je na obrázcích 6.36 a 3.37 zobrazen pouze látkový tok stanovený v programu HEC-RAS

Ustálené proudění:

Obr. 6.36 Látkový tok BSK



Obr. 6.37 Látkový tok N



Neustálené proudění:

Z účelem srovnání výstupních hodnot pro případ neustáleného proudění byl proveden výpočet celkového hmotnostního toku závěrným profilem. Výpočet byl proveden dle rovnice (3.7):

$$LTc = \sum_{n=1}^n (Q_i * c_i) \quad (3.7)$$

Výsledné hodnoty pro HEC-RAS:

$$LT_{BSK} = 81,25 \text{ kg/den}$$

$$LT_N = 19,82 \text{ kg/den}$$

Výsledné hodnoty pro ICM se řádově liší. Z obrázku 6.31 je patrný nesoulad už v průtokových parametrech. Lze tedy konstatovat, že neustálený výpočet v ICM se nepodařilo odpovídajícím způsobem nastavit resp. odladit.

1 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo porovnat možnosti použití vybraných softwarových prostředků pro různé scénáře transportu a disperze znečištění v povrchových tocích. Pro modelové řešení byl vybrán reálný úseku toku (Dyje u Břeclavi). Modelové scénáře představovaly jednoduché úlohy bilančního řešení jakosti vody (ustálený režim proudění) a dále pak řešení havarijní znečištění (neustálený režim proudění). Ustálená úloha zahrnovala tři průtokové stavy při nichž byly ve dvou vybraných místech definovány bodové vnosy znečištění. Havarijní znečištění představovalo úlohu, při níž došlo, při relativně nízkém vodním stavu v toku, ke vnosu významného znečištění v důsledku např. odlehčení z kanalizační sítě při intenzivní srážce. Při této úloze došlo k přechodnému výraznému zvýšení koncentrací v toku (neustálené proudění).

Při ustáleném proudění v programu HEC-RAS byly porovnávány koncentrace a látkový tok pro několik vybraných ukazatelů jakosti vody. Koncentrace byly stanoveny pro 3 různé průtoky. Při průtoku $Q_5 = 341,4 \text{ m}^3/\text{s}$ je zřejmé, že koncentrace látek vstupujících v místě bodových nemá významný vliv. To je dáno zanedbatelným přítokem ze zdrojů znečištění oproti celkovému průtoku v toku. U průtoků nižších $Q_p = 41,7 \text{ m}^3/\text{s}$ a $Q_a = 10,0 \text{ m}^3/\text{s}$ je nárůst znečištění výraznější. Vzhledem k nastavení parametrů objemových změn a koeficientu disperze lze konstatovat malý vliv látkové odbourávání při vyšších průtocích a výraznější vliv při nižších průtocích. Pro ustálenou úlohu lze konstatovat dobrý soulad výstupů z programu HEC-RAS a ICM, a to především v případě průtokových stavů.

Při neustáleném proudění při simulaci přechodného zvýšení koncentrace při vnosu významného znečištění ve vybraných zdrojích došlo k očekávanému průběhu pouze v případě programu HEC-RAS. Vstupní hodnoty programu ICM byly jak z pohledu časového vývoje průtoků, tak z pohledu průběhu jakosti vody neakceptovatelné. Vypočtené hodnoty v softwaru InfoWorks ICM jsou odlišné oproti programu HEC-RAS pravděpodobně především z důvodu nesprávného zadání parametrů výpočtů a jeho následného odladění.

Závěrem lze konstatovat, že postup výpočtu úloh jakosti vody byl dobře zvládnut pouze v prostředí programu HEC-RAS. Tento prostředek je zaměřen pouze na

1D úlohy proudění a transportu a nabízí přehledný způsob ovládání a nastavení výpočtu. Naopak program ICM je z důvodu své rozsáhlosti (plně integrované prostředí pro hydrologické a hydraulické 1D – 2D modelování) uživatelsky výrazně náročnější. Software byl pouze zapůjčen pro testování na dobu dvou měsíců s velmi stručnou dokumentací. Hlavním problémem se jeví časová náročnost jeho samostatného zvládnutí. Zvládnutí programu InfoWorks je nutno věnovat více času a nejlépe absolvovat odborné školení. Důvodem nepřesných výsledků získaných z programu ICM je nedostatečné odladění řešených úloh a to především v případě neustáleného proudění.

.....

Martin Tomíček

ODBORNÁ LITERATURA

- [1] ŘÍHA, J. a kol., Jakost vody v povrchových tocích a její matematické modelování, Brno: NOEL 2000. 2002. 269 stran
- [2] JANDORA, J. , ŠULC, J., Hydraulika, skripta. Brno: 2006. 178 stran
- [3] Us Army Corps of Engineers , HEC-RAS River Analysis System, Users Manual: Davis: 2008. 747 stran
- [4] Innovyze [online]. 2008 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z <http://innovyze.cz/produkty.html?panel=0#Accordion1>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Q	průtok
Dt	derivace času
Du	derivace rychlosti
$\partial m / \partial t$	hmotnostní změna za jednotku času
F	stálá síla
g	gravitační konstanta
h_c	ztrátová výška
m	hmotnost vody
m_o	hmotnost odtékající vody
m_p	hmotnost přitékající vody
V_i	průměrná rychlost v i -tém profilu
Y_i	hloubka vody v i -tém profilu
Z_i	nadmořská výška i -tého profilu dna
α_i	Coriolisovo číslo
K	míra útlumu
C	koncentrace organického materiálu
k_f	reakční rychlostní konstanta BSK rychlá
k_s	reakční rychlostní konstanta BSK pomalá
A	průtočný průřez
D	difuzní koeficient
X	vzdálenost
CBOD	biologická spotřeba kyslíku