

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ
A
ENVIRONMENTÁLNÍHO
MODELOVÁNÍ



Diplomová práce

Příprava geometrického podkladu pro hydrodynamický model MIKE 11 na úseku
vodního toku Otava

Vedoucí práce: Ing. Radek Roub, Ph.D.

Diplomant: Martin Švec

2015 ©

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Martin Švec

Environmentální modelování

Název práce

Příprava geometrického podkladu pro hydrodynamický model MIKE 11 na úseku vodního toku Otava

Název anglicky

Preparation of geometric data for a MIKE 11 hydrodynamic model on a reach of the Otava river

Cíle práce

1. Zpracování postupu řešení tvorby DMR v prostředí GIS
2. Příprava modelu terénu z dat LLS v kombinaci s experimentálně získanými daty
3. Srovnání výstupů z hydrodynamického modelu MIKE 11 pro různé varianty výpočtu

Metodika

1. Vytvoření bodové vrstvy TIN
2. Na podkladu DMT vytvoření osy toku a příčných profilů v ArcGis
3. Práce s daty v MIKE 11 – simulace N – letých průtoků zaznamenaných v Evidenčním listu hlásného profilu č. 127 v Písku na řece Otavě, tj. Q1, Q5, Q10, Q50 a Q100 ve třech hydrodynamických modelech
4. Hydrodynamický model pouze na základě dat DMT
5. Hydrodynamický model na základě dat z geodetického zaměření profilů
6. Porovnání výsledků 3 modelů.

Doporučený rozsah práce

cca 60 stran + grafické přílohy

Klíčová slova

DMT 5G, hydrodynamický model, LLS, Mike 11, průtok, povodeň, příčný profil

Doporučené zdroje informací

DHI, 2003: MIKE 11 – a Modelling System for Rivers and Channels: Short Introduction Tutorial. Danish Hydraulic Institute, Hørsholm, Denmark, 88 s., online: <https://www.tu-braunschweig.de/Medien-DB/geoekologie/mike-11-short-introduction-tutorial.pdf>

VÚV, 2014: Charakteristika toků a povodí ČR. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Oddělení geografických informačních systémů a kartografie. Praha. online: <http://www.dibavod.cz/24/charakteristiky-toku-a-povodi-cr.html>

Předběžný termín obhajoby

2015/06 (červen)

Vedoucí práce

Ing. Radek Roub, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 21. 4. 2015

prof. Ing. Pavel Pech, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 22. 4. 2015

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan

V Praze dne 22. 04. 2015

Prohlášení autora diplomové práce

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci „Příprava geometrického podkladu pro hydrodynamický model MIKE 11 na úseku vodního toku Otava“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Radka Rouba, Ph.D. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Martin Švec

V Mělníku, 22. dubna 2015

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval vedoucímu mé práce Ing. Radku Roubovi, Ph.D. za rady a čas, který mi v průběhu práce věnoval. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Ludkovi Burešovi za cenné rady při řešení modelů. Také děkuji DHI a. s. za poskytnutí softwaru Mike11, Ing. Maximu Bernsteinovi za pomoc při práci se softwarem MIKE 11.

Dále děkuji Českému úřadu katastrálnímu a Povodí Vltavy s. p. za poskytnutí dat.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině, přítelkyni Kateřině za všestrannou pomoc a podporu.

Výsledky publikované v diplomové práci vznikly za podpory Technologické agentury ČR, projektu TA02020139 - „Využití hydrologického měření při schematizaci koryt vodních toků pro potřeby hydrodynamických modelů na podkladě dat leteckého laserového skenování“.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá použitelností topografických dat získaných z leteckého laserového skenování (LLS) pro hydrodynamické posuzování toků. Jedná se o digitální model reliéfu 5. generace (DMR 5G), který je ve formě nepravidelné trojúhelníkové sítě TIN a který by měl nahradit stávající výškopisné modely poskytované Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním. LLS se vyznačuje rychlým sběrem velkého objemu prostorových dat. Jeho nevýhodou je nižší přesnost oproti geodetickému zaměření a především nedostatečná schopnost popsat vodní toky vzhledem ke skutečnosti, že laserový paprsek nedokáže proniknout skrz vodní hladinu. Za využití prostředí softwaru ArcGIS 10.1 byl na těchto datech vytvořen digitální model terénu (DMT). Ten byl použit k tvorbě výpočetní geometrie příčných profilů zvoleného úseku řeky Otavy v katastrálním území města Písku. Geodeticky zaměřené profily a profily získané z DMR 5G byly použity na sestavení hydrodynamických modelů za použití softwaru MIKE 11. Zároveň bylo pracováno s dvěma soubory průtoků – N-letými průtoky a průtoky sníženými o průtok naměřený během LLS. Porovnáním výstupů z modelů bylo zjištěno, že model DMT nadhodnocuje výsledky v porovnání s modelem sestaveným z geodetických dat.

Klíčová slova: DMT 5G, hydrodynamický model, LLS, Mike 11, průtok, povodeň, příčný profil

Abstract

This thesis deals with the applicability of topographic data obtained from airborne laser scanning (ALS) for hydrotechnical assesment of rivers. The assesed data is the Digital Terrain Model of the Czech Republic of the 5th generation (DMR 5G) which is represented in an irregular triangular network (TIN) and should replace current altimetry data provided by the Czech Office for Surveying, Mapping and Cadastre. Main advantage of ALS is fast data collection. However its accuracy is lower than that of data obtained through geodetic survey, especially for river channel mapping because of the laser's inability to penetrate water masses. A digital elevation model (DEM) was made using ArcGIS 10.1 from the given data which was subsequently used to represent the computational geometry of cross sections on a selected reach of the Otava river in the town of Písek. These cross sections, as well as cross sections based on data from geodetic survey, were used to run a hydrodynamic model in MIKE 11. Two sets of discharges were used: N-year floods and N-year floods with substracted discharge that was reached during ALS. The results of the simulation show that the DEM based model overestimates the results compared to the model with the geodetic survey.

Key words: cross section, discharge, DTM 5G, flood, hydrodynamic model, LLS, Mike 11

Obsah

Seznam použitých zkratk	9
1. Úvod	10
2. Cíle práce	11
3. Literární rešerše	12
3.1 Nejčastěji využívané modely v České republice	12
3.1.1 MIKE-SHE	12
3.1.2 HEC-HMS	13
3.1.3 SAC-SMA	13
3.1.4 SWAT	14
3.1.5 HYDROG	14
3.1.6 MIKE 11	15
3.1.7 MIKE 21	15
3.1.8 HEC-RAS	16
3.1.9 Méně rozšířené modely	16
3.2 Metody získávání výškopisných dat pro hydraulické modely	17
3.2.1 Pozemní měření	17
3.2.2 Dálkový průzkum Země	19
3.2.3 Datové databáze v České republice	23
3.3 Projekt tvorby nového výškopisu ČR	24
4. Charakteristika toku Otava, zájmového území	26
4.1 Základní údaje o Otavě	26
4.2 Zájmové území	27
4.2.1 Geomorfologické začlenění	29
4.2.2 Geologické a půdní podmínky	29
4.2.3 Biogeografická charakteristika lokality	30
4.2.4 Sklonové poměry povodí Otavy	30
4.2.5 Hydrologické a klimatické podmínky	30
5. Metodika	32

5.1	Použité podklady	32
5.1.1	Hydrologická data	32
5.1.2	Mapové a výškopisné podklady	32
5.2	Práce v prostředí ArcGIS 10.1	33
5.2.1	Tvorba datového modelu TIN.....	33
5.2.2	Získání příčných profilů z DMT.....	34
5.3	Sestavení 1D modelu v programu MIKE11	35
5.3.1	Model s geodeticky zaměřenými profily.....	36
5.3.2	Model s příčnými profily získanými z DMT	41
5.3.3	Model s příčnými profily z DMT se sníženým průtokem.....	41
5.4	Výstupy z MIKE 11	41
6.	Výsledky.....	42
6.1	Porovnání příčných profilů z geodetického zaměření a DMT	42
6.2	Porovnání výstupů získaných z hydrodynamických modelů.....	43
6.2.1	Porovnání nadmořských výšek hladin	44
6.2.2	Porovnání výšek hladin od říčního dna.....	46
7.	Diskuze.....	48
8.	Závěr	50
9.	Přehled použité literatury	52
10.	Seznam obrázků a tabulek v textu	57
11.	Přílohy.....	59
11.1	Evidenční list hlásného profilu č. 127.....	59
11.2	Vykreslené příčné profily	60
11.3	Tabulka přehledu dosažených hodnot nadmořských výšek hladiny a jejich rozdíl	64
11.4	Tabulka přehledu dosažených hodnot výšek hladiny ode dna koryta a jejich rozdíl	67

Seznam použitých zkratk

ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
DMR	Digitální model reliéfu
DMT	Digitální model terénu
GIS	Geografický informační systém
GZ	Geodetické zaměření
LSS	Letecké laserové skenování
Q_{LLS}	Průtok během leteckého laserového skenování
Q_N	N – letý průtok
S-JTSK	Souřadnicový systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
SPA	Stupeň povodňové aktivity
TIN	Triangulated Irregular Network
TKSP	Taxonomický klasifikační systém půd ČR
VUT	Vysoké učení technické

1. Úvod

V současné době se České republice řeší problém kvalitního a dostatečně podrobného mapového podkladu, který by vhodně popisoval příčný profil koryta v celé délce sledovaného vodního toku pro použití do hydrodynamických modelů. Geodetické zaměření příčných profilů, letecké laserové skenování, fotogrammetrie jsou základní způsoby pořizování prostorových dat. V určitých kombinacích jsou pak používány jako podklady, které jsou nutné ke zpracování hydrodynamických výpočtů v numerických modelech, pro vyhodnocení výsledků simulací i pro zpracování navazujících rizikových analýz.

Pro dostatečně kvalitní simulace modelování jevů a stavů při povodních s využitím hydrodynamických modelů jsou nejdůležitější vstupní data pro tvorbu výpočetní geometrie vodního toku. Tato práce se zabývá využitím výškopisných dat získaných metodou leteckého laserového skenování, digitálním modelem reliéfu 5. generace (DMR 5G), který je jedním z realizačních výstupů společného projektu Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (ČÚZK), Ministerstva obrany ČR a Ministerstva zemědělství ČR s názvem „Projekt tvorby nového výškopisu České republiky“ z roku 2008 (Brázdil, 2012; Dušánek, 2014). Problémem dat z LLS je, že laserový paprsek není po dopadu na vodní hladinu zpět odražen, nýbrž je vodou pohlcen. Díky této skutečnosti, vzniklé spektrální charakteristikou vody, dochází při zpracování dat z LLS ke ztrátě informace v místech, kde je souvislá vodní hladina. Tzv. mračno bodů, které je základním výstupem LLS tak po transformaci naměřených hodnot do výškového zobrazení nepostihuje celý příčný profil koryta, avšak pouze jeho část, kde došlo ještě k odrazu paprsku (Dolanský, 2004). Tato chybějící část koryta, která může s ohledem na svou velikost představovat významnou průtočnou plochu, tak může při povodňových situacích převádět významný objem povodňové vlny. Nabízí se způsob, jak tento nedostatek zmírnit. Možností je odečtení známého průtoku, který byl během leteckého laserového skenování naměřen.

Účelem práce je porovnání dat z LLS a geodeticky zaměřených dat pro kvalitní a zároveň jednoduchou přípravu výpočetní geometrie vodních toků jako podkladu pro hydrodynamické modely, včetně možnosti odečtení daného průtoku při LLS.

2. Cíle práce

Hlavním cílem této diplomové práce je posouzení využitelnosti dat získaných leteckým laserovým skenováním v poslední generaci digitálního modelu reliéfu (DMR 5G) ve srovnání s podklady geometrickým zaměřením.

Dílčí cíle:

- Zpracování postupu řešení tvorby DMT v prostředí GIS
- Příprava modelu terénu z dat LLS v kombinaci s experimentálně získanými daty.
- Srovnání vstupů do modelu a výstupů z hydrodynamického modelu MIKE 11 pro různé varianty výpočtu.

3. Literární rešerše

V této části práce jsou obecně popsány matematické modely, které se nejčastěji používají pro simulaci srážko-odtokových procesů na území České republiky. V následujících kapitolách jsou obecně vysvětleny metody sběru a úprava dat pro tyto modely.

3.1 Nejčastěji využívané modely v České republice

Nejčastěji používané matematické modely v České republice jsou modely MIKE-SHE, HEC-HMS, SACRAMENTO (SAC-SMA), SWAT, HYDROG. Tyto modely patří do skupiny srážko-odtokových modelů, které simulují povodí, z něhož povrchovým a podpovrchovým tokem odtéká voda z atmosférických srážek. Další skupinou jsou modely hydrodynamické, kam řadíme MIKE 11, MIKE 21, HEC-RAS. Existují další modely, které jsou ovšem u nás méně rozšířené, mezi ně patří například HBV, NASIM, SWIM (Jeníček et al., 2011).

3.1.1 MIKE-SHE

Tento srážko-odtokový model, patřící do skupiny hydrodynamických koncepčních distribuovaných, případně semi-distribuovaných modelů, je schopný simulovat jak kontinuálně, tak epizodně. Navržený byl dánskou firmou DHI (Danish Hydraulic Institute). Jde o propracovaný model s vazbou na GIS, se kterým je možné řešit širokou škálu hydrologických úkolů. Je používán pro detailní analýzu, plánování a řízení v oblasti vodních zdrojů. Na základně simulací můžeme posuzovat vzájemné ovlivňování povrchové a podzemní vody nebo řešení technických zásahů v povodí. S připojením dalších komponent dokáže řešit model šíření znečištění, eroze, transportu sedimentů, řešení zavlažování, tedy mnoho environmentálních a ekologických otázek spojených s povrchovou i podzemní vodou. Dá se také využít k posuzování dopadů na životní prostředí, k ekologickým hodnocením kontaminace z odstraňování odpadů, řešení zavlažování, odvodňování, řízení a obnovu mokřadů a dalších environmentálních problémů naší doby (Graham et Butts, 2005; Jeníček et al., 2011; DHI, 2007).

Model je složen z mnoha komponent, kalkuluje objem, pohyb a šíření vody v jednotlivých fázích hydrologického cyklu. Dají se tedy využít komponenty: srážek (dešťových i sněhových), evaporace včetně intercepce, povrchového odtoku z povodí, odtoku v korytě, podpovrchového odtoku v nenasycené zóně půdního prostředí, podzemní odtok (Jeníček et al., 2011).

Vstupní data, která MIKE-SHE vyžaduje, jsou zcela běžná pro tento typ modelů. Využívá data ze své databáze půd, ale pracuje i s ASCII formáty. A díky nadstavbě GIS, která byla pro firmu DHI vyvinuta, umožňuje zpracovávat i potřebná prostorová data. Příkladem jsou extenze Geomodel nebo MIKE GIS.

MIKE-SHE je placeným softwarem (Jeníček et al., 2011).

3.1.2 HEC-HMS

Model HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System) je dalším srážko-odtokovým modelem. Je následníkem modelu HEC-1, který byl vyvíjený od 60. let armádou USA. Původně se jednalo o celistvý model, který ovšem současným intenzivním vývojem směřuje k vytváření komponent s distribuovanými parametry. Hlavními komponentami modelu jsou: srážky (dešťové i sněhové), komponenta počítající objem odtoku, komponenta podzemního odtoku nebo komponenta přímého odtoku korytem (Jeníček et al., 2011).

Jeho široké využití se používá při řešení různých problémů, neboť dokáže pojmout zásobování velkých vodních nádrží, řešení povodní a odtoku z povodí v extravilánu i intravilánu (Scharffenberg, 2001). Speciálními případy jsou pak například rozdělovací objekty a nádrže, u kterých umí vypočítat a nasimulovat i její protržení (Jeníček et al., 2011).

Spolupráce s firmou ESRI vylepšila model o nadstavbu ArcGIS: HEC-GeoHMS, která je propojena s další nadstavbou ArcHydro Tools. Tento model je možné volně stáhnout a používat (Jeníček et al., 2011).

3.1.3 SAC-SMA

SAC-SMA neboli SACRAMENTO je srážko-odtokový model koncepční, vyvíjený je od poloviny 70. let národní meteorologickou službou v USA. Je součástí knihovny modelovacích technik systému NWSRFS (National Weather Service River Forecast System). Model rozdělí povodí do dvou zón různé půdní vlhkosti. Horní zóna reprezentuje režim půdy na povrchu země a spodní část představuje hlubší vrstvy půdy, které obsahují největší podíl půdní vlhkosti a zásoby podzemní vody. Hlavními komponentami tohoto modelu jsou: evapotranspirace, voda vázaná (kapilárně), voda volná, povrchový odtok, horizontální odtok z povodí a perkolace, neboli vertikální odtok (Smith et al., 2000; Jeníček et al., 2011).

V České republice je model SACRAMENTO využíván například ČHMÚ, který ho užívá pro operativní předpovědi průtoků řek Vltavy a Labe v jejich povodí. Je použit

jako součást knihovny modelovacích technik předpovědního systému Aqualog, který vyvinula firma AquaLogic (Helka, 2006; Jeníček et al., 2011).

3.1.4 SWAT

SWAT neboli Soil and Water Assessment Tool je hydrologický koncepční model vyvinutý USDA ARS (United States Department of Agriculture – Agricultural Research Service). Vytvořený byl k predikci dopadů zemědělského managementu na bilanci sedimentů, znečišťujících látek a živin ve vodním prostředí. Jde vlastně o hydrologický transportní model, který modeluje změny pozorovaných veličin v časovém kroku (Jeníček et al., 2011; Neitsch et al., 2011).

Povodí je v rámci modelu rozděleno na jednotlivá povodí, ta jsou nadále dělena na homogenní celky s podobným chováním, tzv. HRU (Hydrological Response Units). Tyto celky jsou homogenní z hlediska půdních vlastností a land use v daném měřítku. Je zde možná vazba na GIS, například pomocí extenze pro GRASS GIS (SWAT/GRASS). Model SWAT je volně šiřitelný (Jeníček et al., 2011; Neitsch et al., 2011).

3.1.5 HYDROG

HYDROG je další srážko-odtokový distribuovaný model, který je prvkem komplexnějšího predikčního systému HYDROG-S. Jeho autor je profesor Miloš Starý z VUT v Brně. Vývoj modelu probíhá od roku 1991. Je určený pro simulaci povodňových stavů v povodí, vydávání operativních predikcí průtoků v říční síti a řízení vodohospodářských děl. Tento model je využíván Českým hydrometeorologickým ústavem pro výpočet předpovědí na predikčních pracovištích v Ostravě na povodí Odry, Bečvy a horní Moravy, v Brně na povodí Dyje a na Povodí Labe, s. p. a Povodí Ohře, s. p. (Březková, 2006; Jeníček et al., 2011).

Uvnitř tohoto modelu je povodí popsáno prostřednictvím grafu, kde hrany jsou koryta toku, uzly odběrná místa, místa řízení nebo uzly říční sítě. Plochy zde reprezentují jednotlivá povodí (Březková, 2006; Jeníček et al., 2011).

HYDROG uznává počáteční ztrátu infiltrací dle Hortona. Povrchový odtok z oblasti povodí řeší model pomocí kinematické vlnové aproximace Saint-Venantových rovnic pro neustálené proudění. Podzemní odtok je řešen jako koncepční regresní model, který uvažuje jedinou podzemní nádrž. V případě simulace chování vodních děl je využívána metoda Runge-Kutta IV. řádu. Model tání sněhu je řešen kalibrovaným degree-day modelem. Je zde možné využít

radarových odhadů, také umožňuje pracovat s výstupy meteorologického předpovědního modelu ALADIN (Březková, 2006; Jeníček et al., 2011).

3.1.6 MIKE 11

MIKE 11 je představitelem uživatelsky příjemného, plně dynamického, jednorozměrného matematického modelu sloužícího k simulaci proudění, kvality vody a pohybu splavenin v otevřených korytech i záplavových územích a také k modelování srážko-odtokových jevů. Má široké uplatnění ve sférách protipovodňové ochrany, vývoje kvality vody a řízení vodohospodářských děl, čili v oblasti vodních toků a říčních systémů (DHI, 2003; Jeníček et al., 2011).

Typickou charakteristikou modelovacího systému MIKE 11 je začleněná modulární struktura s různými přídatnými moduly. Ty dokážou simulovat jednotlivé jevy spojené s říčním systémem. MIKE 11 obsahuje přídatné moduly pro: hydrodynamiku, hydrologii, advekci-disperzi, modely pro různé aspekty kvality vody, transport zpevněných sedimentů a plavenin, transport nezpevněných sedimentů, integrovanou ochranu povrchové a podzemní vody (DHI, 2003; Jeníček et al., 2011).

Srdcem modelovacího systému MIKE 11 je hydrodynamický modul, který proniká do většiny ostatních modulů. MIKE 11 HD modul řeší vertikálně integrované rovnice kontinuity a zachování hybnosti, tj. Saint-Venantovy rovnice (DHI, 2003).

MIKE 11 nabízí mnoho výstupů včetně barevné grafiky pro systémová data a výsledky, animované prezentace výsledků v různých typech grafů včetně grafu časových řad, synchronizované animace výsledků a prezentace externích časových řad. Program také zahrnuje nástroje pro export výsledných tabulek či prezentačních grafů a animací do jiných aplikací, ať už v textové nebo tabulkové podobě. MIKE 11 je stejně jako MIKE SHE komerčně šiřitelný (DHI, 2003).

3.1.7 MIKE 21

Je komplexním dvourozměrným matematickým modelem, který slouží pro simulaci proudění vody s volnou hladinou a na to navazujících jevů, jako pohyb splavenin, kvalita vody, eutrofizace, šíření kontaminace, účinky větru a vlnění. Model je široce využíván pro modelování říčních systémů. MIKE 21 společně s MIKE FLOOD výrazně rozšiřuje možnosti ve zpracování a prezentaci výsledků simulací. Slouží především k prohlížení map zátopy, zátopových čar, hloubek vody

a výšky hladiny v zátopovém území. Jde opět o komerčně šířený software (DHI, 2007a; Jeníček et al., 2011).

3.1.8 HEC-RAS

HEC-RAS celým názvem Hydrologic Engineering Centers River Analysis System je jednorozměrný model schopný modelovat ustálené i neustálené proudění, řešit hydraulické výpočty pohybu splavenin. Software HEC-RAS byl vytvořen společností IRW (Institute for Water Resources), který je součástí U. S. Army Corps of Engineers v HEC (Hydrologic Engineering Center). HEC-RAS je vyvíjen tak, aby na konci obsahoval tři jednorozměrné složky pro výpočet výšky vodní hladiny při ustáleném proudění, modelování neustáleného proudění a propočet transportu sedimentu s pohyblivou hranicí. Verze 1.0 HEC-RAS byla vydána roku 1995. Od té doby vzniklo několik dalších verzí, aktuální verze 4.1 byla vydána v roce 2010. Model je volně šiřitelný (Koudelka et al., 2006; Warner, 2010).

3.1.9 Méně rozšířené modely

3.1.9.1 HBV

HBV patří do koncepčních hydrologických modelů vyvíjených od 70. let ve švédském meteorologickém a hydrologickém institutu, jako součást modelovacího systému IHMS (Integrated Hydrological Modelling System). Tento model se používá pro krátkodobé i kontinuální simulace odtoku z povodí. Modelované povodí je zde bráno jako homogenní útvar. Hlavními komponentami modelu jsou sněhový model, model půdní vlhkosti, model geneze odtoku a modul výpočtu nádrže (Jeníček et al., 2011).

3.1.9.2 NASIM

NASIM (Niederschlag-Abfluss Simulation Model) patří do koncepčních deterministických semi-distribuovaných srážko-odtokových modelů. Vyvíjen je počátkem 80. let německou firmou Hydrotec GmbH pro podporu hydrologů a ekologů při plánování a monitorování vodohospodářských systémů. Využití také nalezl v hydrologických předpovědích (Hydrotec, 2015; Jeníček et al., 2011).

Model NASIM se skládá z několika samostatných komponent představujících složky srážko-odtokového procesu. K výpočtu jednotlivých komponent jsou využívány osvědčené metody - pro srážky se používá kombinovaná metoda Temperature-Index/Snow-Compaction, pro infiltraci metoda exponenciálního poklesu, pro přímý odtok postup využívající metodu jednotkového hydrogramu, pro odtok v korytě upravená metoda Kalinina-Miljukova (Jeníček et al., 2011).

Model NASIM je v současné době nejvíce využíván ministerstvem životního prostředí ve spolkové zemi Nordrhein-Wastfalen, dále je také využíván pro projekty v různých institucích a univerzitách po celém Německu (Jeníček et al., 2011).

3.1.9.3 SWIM

Model SWIM celým názvem Soil and Water Integrated Model je opět jeden ze zástupců distribuovaných modelů. Je vyvíjený Institutem pro výzkum dopadů klimatu v Potsdami. Jeho využití je v modelování hydrologických procesů, růstu vegetace a plodin i transportu živin, což umožňuje model použít pro analýzu vlivu klimatických změn a změn ve využívání území na hydrologii a kvalitu vody v regionálním měřítku.

SWIM je založený na modelech SWAT a MATSALU, a proto je zde také povodí rozděleno na jednotlivá povodí a dále na homogenní odtokové plochy. V České republice se model využívá například v ústavu hydrodynamiky AV ČR (Košková et Němečková, 2009; Jeníček et al., 2011).

3.2 Metody získávání výškopisných dat pro hydraulické modely

Výškopisná data jsou pro modelování průtoků základním datovým zdrojem. Podle získávání je lze rozdělit do tří kategorií: pozemní měření, dálkový průzkum Země a datové databáze. Jedním u nejstarších a zatím nejvíce používaných způsobů je pozemní měření. Ovšem rozvojem letectví a technologií se rozšiřují také možnosti sběru dat pomocí dálkového průzkumu Země. V této kapitole jsou popsány nejčastější metody pořizování výškopisných dat pro hydraulické modely.

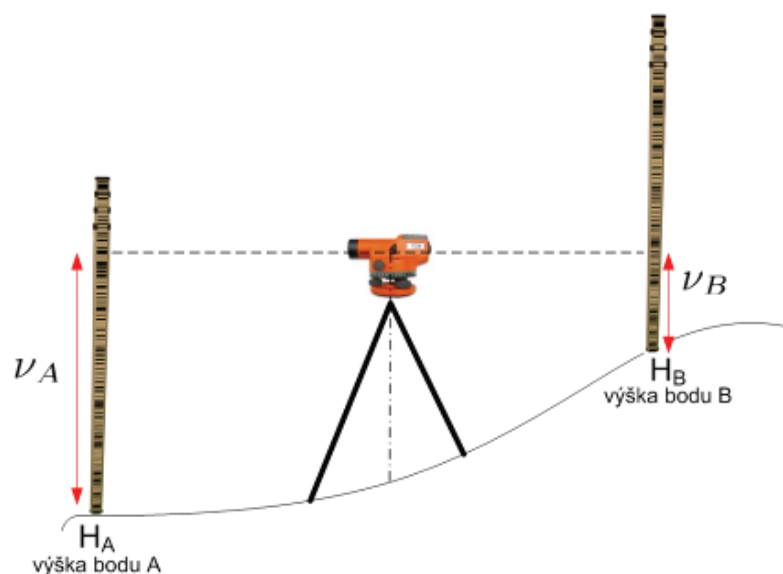
3.2.1 Pozemní měření

3.2.1.1 Nivelace

Geometrická nivelace ze středu je nejpřesnější metodou, která umožňuje určit výšky s vysokou přesností. Poněkud problematictější může být určení polohy, které se ale většinou řeší jinou metodou (geodeticky, GPS).

Základem metody je odečítání výškového rozdílu mezi dvěma body, přičemž jeden z bodů má známou svoji nadmořskou výšku. Na oba body je postavena měřická lať se stupnicí, nivelační přístroj se umístí přibližně mezi tyto dva body a jeho záměrná přímka (optická osa dalekohledu) je pomocí libely nebo kompenzátoru urovnána do vodorovné roviny. Nadmořská výška druhého bodu se pak spočítá dle vztahu (viz Obr. č. 1) :

$$H_B = H_A + v_A - v_B$$



Obr. č. 1 Princip nivelace (Zdroj: Oršulák et Pacina, 2012)

Měření touto metodou je velice zdlouhavá, neboť délka záměry by neměla přesáhnout 120 m a při výškově členitém území je nutné přístroj několikrát přestavovat díky omezené délce latě 3 nebo 4 metry – tím vznikají tzv. nivelační pořady. Ze všech metod měření nivelace je pro zaměření bodů pro modelování nejvhodnější geometrická nivelace ze středu v kategorii přesnosti technické nivelace. Využití má tato metoda při zaměřování příčných a podélných profilů vodních toků nebo pozemních komunikací. Při variantě plošné nivelace pro určení výškových poměrů například u letišť, sportovišť. Při geometrické nivelaci ze středu umístíme nivelační přístroj na bod o známé výšce a měřická lat' se postupně umísťuje na všechny vybrané body. Jejich nadmořskou výšku zjistíme opět odečtením hodnoty na měřické lati (Oršulák et Pacina, 2012).

3.2.1.2 Tachymetrie

Pomocí tachymetrie je určována současně výška i poloha bodu v místním systému, které jsou přepočteny na souřadnice X, Y a H v definovaném souřadnicovém systému. Principem je měření délky, vodorovného a výškového (zenitového) úhlu pomocí tachymetru (teodolitu), v současné době nejčastěji totální stanicí, kdy měřič signalizuje měřené body přímo v terénu výtyčkou s odrazným hranolem. Totální stanice je v podstatě elektronický tachymetr, který vzdálenosti měří pomocí laserového dálkoměru a úhly jsou odečítány pomocí elektronického systému na kódových kruzích.

Přesnost tachymetrie při použití totálních stanic je dostatečná pro většinu modelů terénu. Směrodatné odchylky/střední chyby činí zhruba 0,02–0,05 m, přičemž z jednoho stanoviště lze měřit vzdálenosti i větší než 200 m (přesnost samozřejmě se vzdáleností klesá). Vlastní metoda je velmi vhodná při potřebě přesného modelu terénu pro velká měřítka v intravilánu, u technických děl nebo pro projekční účely (např. pro pozemkové úpravy), kdy lze provést mapování do nejmenších detailů. Geodetické zaměření je nezbytnou součástí letecké fotogrammetrie. Tam je používáno pro zaměření geodetických souřadnic a výšky vlíčovacích bodů, to jsou body sloužící pro určení orientace a transformace do geodetického systému. Navíc se tato metoda často používá pro doměřování zakrytých částí území, které nebylo možné vyhodnotit například fotogrammetricky (pod vegetací) (Oršulák et Pacina, 2012; Pavelka, 2009).

3.2.2 Dálkový průzkum Země

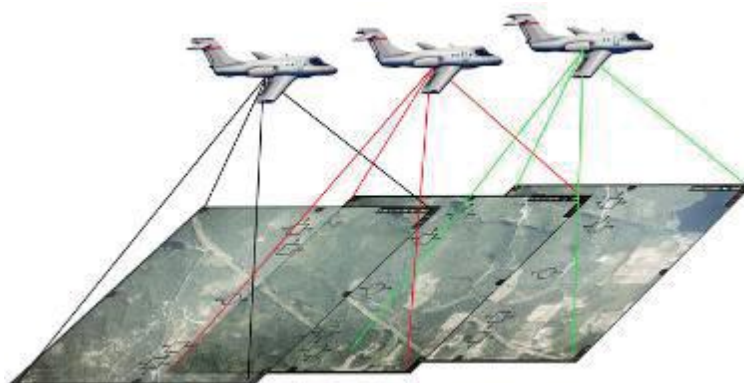
3.2.2.1 Fotogrammetrie

Fotogrammetrie je velice rozšířená metoda pro sběr dat k modelování terénu. Využívá dvou vhodně pořízených fotografií, pomocí nichž je schopna zpětně rekonstruovat tvar a rozměr trojrozměrných objektů. Pro fotogrammetrii se používají měřické komory umístěné na palubě letadla v závěsu, který zajišťuje minimální přenosy chvění letadla za letu a urovnává komoru do vodorovné polohy. Pro snímkování se používají objektivy o různé ohniskové vzdálenosti od širokouhlých po normální. Konstrukce objektivů pro fotogrammetrické komory je velice precizní a jsou u nich minimalizovány veškeré optické vady. Měřítko snímku má přímý vliv na úroveň detailů, které jsou na snímku zaznamenány a tudíž má vliv na podrobnost a přesnost následného vyhodnocení. Dnes lze pořizovat jak analogové snímky na klasický fotografický film, tak přímo digitální snímky.

Pro speciální aplikace existuje i pozemní fotogrammetrie – ta využívá dvě kamery (fotoaparáty) umístěné na speciálním stativu. Tuto metodu můžeme použít např. pro výpočet kubatur v povrchových lomech.

Pro tvorbu DMT se používá letecké stereofotogrammetrie, kdy jsou snímky pořizovány z paluby letadla pomocí k tomu určené fotogrammetrické komory. Ke zpracování jsou zapotřebí vždy dva snímky (tzv. stereopár), které byly pořízeny každý z jiného místa, ale zobrazují stejné území s určitým překryvem. Snímky se pořizují v takové frekvenci, aby sousední snímky se překrývaly o nejméně 60 %. Tím je zaručeno, že celé území bude vždy zobrazeno na minimálně dvou snímcích.

Pro rozsáhlá území je provedeno snímání v několika rovnoběžných řadách tak, aby se jednotlivé řady překrývaly alespoň o 20 % (viz Obr. č. 2)



Obr. č. 2 Fotogrammetrické snímání (Zdroj: Oršulák et Pacina, 2012)

Stereoskopický model je v dnešní době vytvářen pomocí počítače a snímky jsou pozorovány pomocí anaglyfických, krystalových nebo polarizačních brýlí na monitoru pracovní stanice (podobný systém, jaký se používá např. ve 3D kinech). Umělé stereoskopické vnímání, vytvořené pozorováním fotografických snímků, dovoluje operátorovi vidět vyfotografovanou krajinu plasticky a provádět na ní s pomocí virtuální měřické značky potřebná měření, například určení souřadnic bodů, určení výšky stromů nebo budov, vektorizace objektů na zemském povrchu a samozřejmě i údolnic a hřbetnic pro DMT.

Vyhodnocení snímku nemusí probíhat pouze manuálně identifikací bodu operátorem, ale můžeme plně využít digitálních fotogrammetrických stanic, které mají implementovanu korelační analýzu obrazu. Při ní se pomocí korelace identifikují stejné body na pravém i levém snímku a dochází k automatické tvorbě DMT. Efektivita práce oproti pozemnímu měření se úměrně zvětšuje rozsahem území. Automatické korelace má ale rovněž dva základní nedostatky: nejsou identifikovány čáry a body terénní kostry (hrany, hřbetnice, údolnice, vrcholy), které je nutné vymezit manuálně. Body neleží pouze na terénu, ale i na povrchu objektů (domy, stromy) a je nutné pro tvorbu digitálního modelu terénu tyto body opravit nebo eliminovat. V lesích navíc je vyhodnocení velice problematické z důvodu, že každý bod pro měření musí být viditelný na dvou sousedních snímcích.

Proto se snímání často provádí mimo vegetační období, aby koruny stromů nezakrývaly terén.

I přes uvedené nevýhody se jedná o jednu z nejrozšířenějších metod pro sběr dat pro DMT, zejména pokud je zapotřebí zmapovat rozsáhlejší území (Oršulák et Pacina, 2012).

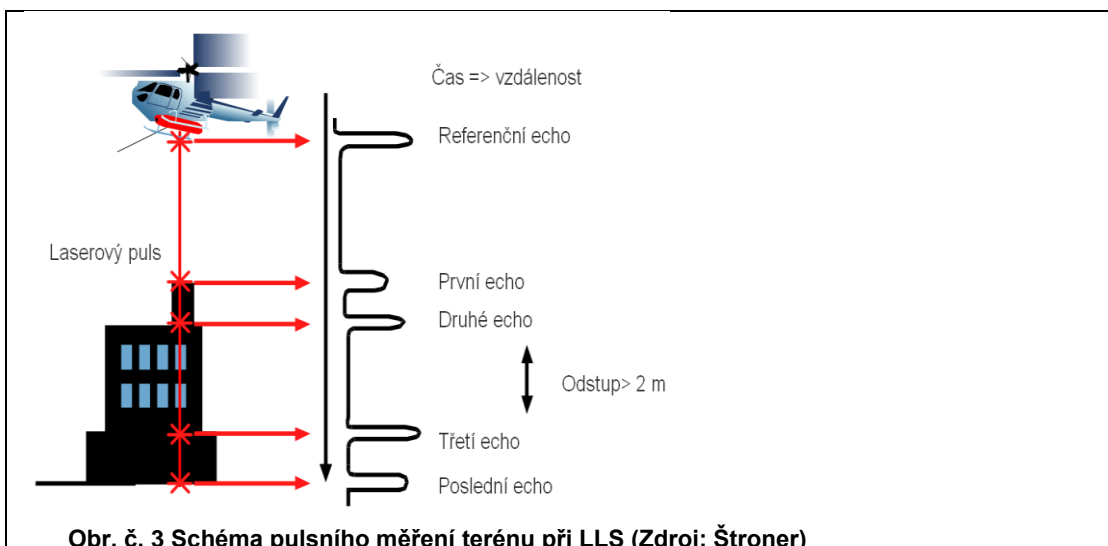
3.2.2.2 LIDAR a LLS

Laserové skenování neboli LIDAR – Light Detection and Ranging, se používá od 70. let minulého století, nyní se však stává stále progresivnější metodou. Využívá se pro mapování historických památek, průmyslových provozů, vegetace, pro tvorbu 3D modelů krajiny a měst.

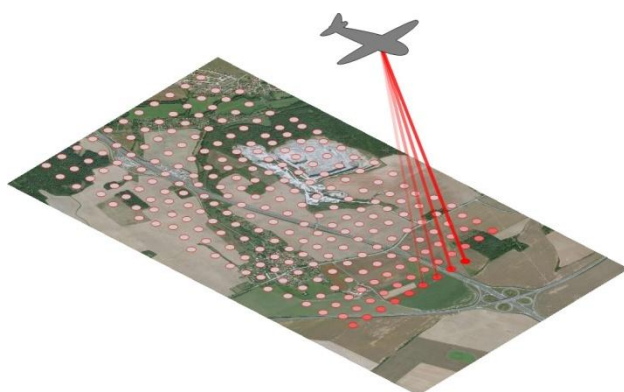
Základním principem je dálkoměrné měření pomocí laserového svazku paprsků, přičemž je nutné znát přesnou polohu skeneru a zároveň přesný směr vyslání paprsku (viz obrázek 4). U pozemních měření se poloha a orientace skeneru určuje geodeticky a při leteckém snímkování se používá metoda GNSS kombinované s IMU (Inertial Measurement Unit) – GNSS-IMU.

Hlavní částí je pulsní nebo fázový laser, který emituje svazek laserových paprsků zpravidla v oblasti infračerveného spektra. Tento svazek paprsků je odražen zpět a senzorem je zaznamenána doba mezi vysláním svazku paprsků a přijetím jeho odrazu.

Díky své šířce se laserový paprsek postupně odráží od jednotlivých vrstev objektů na zemském povrchu. Tato vlastnost se projeví nejvíce na vzrostlé vegetaci a dále pak i na hranách výškových objektů. Při mapování lesních ploch lze tedy získat jak odraz od svrchní části koruny, tak i od jednotlivých pater a rovněž i od vlastního terénu. Komerční systémy jsou dnes schopné registrovat až 5 odrazů. Z těchto několikanásobných odrazů jsou ale nejdůležitější první a poslední. První poskytuje informaci o vegetačním pokryvu nebo o vedení vysokého napětí, poslední je pak odrazem od fyzického terénu nebo od budov (viz *Obr. č. 3*)



Metoda LLS je založena na principu odrazu laserových paprsků, které interpretují obraz měřených objektů jako mračno bodů. Přínosem této metody je rychlost měření, přesnost a množství měřených dat a informací. Laserovému paprsku, který je vyslán směrem k povrchu se změní vzdálenost, kterou urazí směrem k povrchu měřeného území nebo objektu. GPS ve spolupráci s inerciální navigací určí směr paprsku (viz Obr. č. 4). Zpracováním těchto parametrů dojde k výpočtu polohy daného bodu. Dílčím výstupem laserového skenování je soubor 3D souřadnic odražených bodů – takzvané mračno bodů. Na základě dalších informací o odraženém bodu - např. intenzitě odrazu může být provedena tzv. klasifikace. Takto získané mračno bodu je možné reklasifikovat do 3 (4) základních skupin – terén, vegetace, zástavba (Dolanský, 2004; Oršulák et Pacina, 2012).



Obr. č. 4 Schéma LLS nad krajinou (Zdroj: Fiala, 2011)

Použití pro mapování v blízkosti vodních ploch je důležité znát následné využití dat. Zda chceme měřit vodní hladinu nebo dno pod vodní hladinou. Pro každý

z těchto úkolů je potřeba využít lidar s jinou vlnovou délkou. Ze spektrální charakteristiky vody je známo, že voda infračervené záření, které je pro LLS nejčastěji používáno, téměř zcela pohlcuje. Pokud je tu účelem zjistit hladinu vody nebo třeba u povodní záplavovou čáru, je tato vlnová délka velmi vhodná. V datech se de vodní plocha jeví jako oblast s nízkou odrazivostí. Pro mapování pod hladinou je ale nutné použít zelenou nebo modrozelenou část spektra. To není vodou pohlcováno. A může tak projít až ke dnu a od něj se odrazit zpět.

Dnešní systémy pro mapování pobřežních vod využívají duálního použití jak infračervené tak i zelenomodré. Tento systém se nazývá DIAL – Differential Absorption Lidar. U velmi průzračné vody a klidné hladiny, lze mapování provádět teoreticky až do hloubky 50 m. V České republice se k LLS využívá infračerveného laseru proto data z DMR 5G nevykreslují celou hloubku koryta (Dolanský, 2004; Oršulák et Pacina, 2012).

3.2.3 Datové databáze v České republice

Základním geografickým datovým podkladem je ZABAGED (Základní báze geografických dat České republiky). Jde o postupně doplňovaný a každoročně aktualizovaný model v podrobnosti Základní mapy ČR 1:10 000, který začal vznikat roku 1995. V současné době je ZABAGED tvořena 123 typy geografických objektů zařazených do výškopisné či polohopisné části ZABAGED. Výškopisná část je reprezentována trojrozměrným souborem vrstevnic a obsahuje prvky terénního reliéfu v 3D podobě. Polohopisná část zahrnuje prostorové a popisné informace o terénním reliéfu, vegetaci a povrchu, vodstvu, územních jednotkách a chráněných územích, sídlech, komunikacích a rozvodných sítích a produktovodech v dvoudimenzionální podobě. Mapy ZABAGED jsou v souřadnicovém systému S-JTSK a výškovém systému baltském po vyrovnání (ČÚZK, 2015a; Drbal et al., 200,)

3.2.3.1 ZABAGED - výškopis 3D vrstevnic

Je tvoří 3 typy objektů vrstevnic se základním intervalem 5, 2 nebo 1 m v závislosti na charakteru terénu a dále vybrané terénní hrany. Objekty jsou reprezentovány trojrozměrnou vektorovou prostorovou složkou. Přesnost výšky vrstevnic je závislá na sklonu a členitosti terénu a dosahuje 0,7-1,5 m v odkrytém terénu, 1-2 m v sídlech a 2-5 m v zalesněném terénu.

3.2.3.2 ZABAGED - výškopis grid 10 x 10 m

Je digitální model reliéfu v podobě pravidelné mříže (10 x 10 m) trojrozměrně vedených (3D) bodů, který je odvozený z vrstevnic a terénních hran ZABAGED®.

Přesnost výšky jednotlivých výškopisných bodů je obdobná jako u zdrojových vrstevnic, tedy 0,7-1,5 m v odkrytém terénu, 1-2 m v sídlech a 2-5 m v zalesněném terénu.

3.3 Projekt tvorby nového výškopisu ČR

Od počátku roku 2009 je prováděna tvorba nového výškopisu ČR metodou LLS. Český úřad zeměměřický a katastrální (ČÚZK) ve spolupráci s Ministerstvem zemědělství ČR a Ministerstvem obrany ČR připravil projekt nového výškopisného mapování celé České republiky. Ministerstvo obrany zajišťuje letové hodiny speciálního fotogrammetrického letounu L 410 a zároveň zpracovává získaná data v rozsahu $\frac{1}{4}$ území ČR. Ministerstvo zemědělství zajišťuje pronájem leteckého laserového skeneru včetně příslušenství a poskytne referenční výšková data z měřených profilů vodních toků. ČÚZK zabezpečuje řešení projektu a je zároveň hlavním koordinátorem. V neposlední řadě ČÚZK zajišťuje a v budoucnu zajistí trvalou správu dat. Jedním z hlavních důvodů sběru nových dat je nedostatečná přesnost a vysoká generalizace současně používaných digitálních modelů reliéfu. Ty neumožňují popsat objekty mikroreliéfu s požadovanou přesností. Využití metody LLS nabízí dosažení vysoké hustoty výškových bodů a výškové dostatečné přesnosti, která odpovídá současným i možným budoucím požadavkům uživatelů geografických informací v ČR. Metoda LLS se jeví ekonomicky a produkčně nejefektivnější, o čemž svědčí i její stále častější využití ve vyspělých zemích Evropy, USA a v Kanadě. (Brázdil, 2009; ČÚZK, 2015a).

Letecké laserové skenování má základní parametry: výška letu nad terénem se bude pohybovat mezi 1200 až 1500 m, průměrný překryt sousedních skenovacích pásů bude od 40 do 50%, tím bude dosažena hustota minimálně 1 bod na m^2 . Střední chyba měření v rajonu by tak měla být $\sigma < 0,03$ m. (Brázdil, 2009).

Digitální model reliéfu 4. generace (DMR 4G) představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru ve formě výšek diskrétních ve formě mříže 5 x 5 m se střední chybou výšky $\sigma = 0,30$ m v odkrytém terénu a 1 m v zalesněném terénu.

Digitální model reliéfu 5. generace (DMR 5G) představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru ve formě výšek diskrétních bodů v nepravidelné trojúhelníkové síti (TIN) bodů o souřadnicích X, Y, H, kde H reprezentuje nadmořskou výšku ve výškovém referenčním systému

Balt po vyrovnání (Bpv) s úplnou střední chybou výšky $\sigma = 0,18$ m v odkrytém terénu a 0,30 m v zalesněném terénu. (Brázdil, 2012)

Digitální model povrchu 1. generace (DMP 1G) představuje zobrazení území včetně staveb a rostlinného pokryvu ve formě nepravidelné sítě výškových bodů (TIN) s úplnou střední chybou výšky $\sigma = 0,4$ m pro přesně vymezené objekty (budovy) a $\sigma = 0,7$ m pro objekty přesně neohrazené (lesy a další prvky rostlinného půdního krytu).

DMR 5G a DMP 1G se stanou základními výškovými modely území České republiky, když nahradí stávající výškopisné modely. DMR 5G má být vytvořen z celého území České republiky do konce roku 2015. (Brázdil, 2009; Brázdil, 2012).

4. Charakteristika toku Otava, zájmového území

4.1 Základní údaje o Otavě

ID vodního toku:	120020000100
Inventární číslo dle CEVT:	10 100 013
Řád toku:	III.
Název recipientu:	Vltava
ID recipientu:	113900000100
Název hlavního povodí:	Labe
ID hlavního povodí:	1



Obr. č. 5 Lokalizace povodí Otavy
(Zdroj: upraveno dle ZEMĚPIS, 2015; VÚV, 2014)

Celková délka toku:	111,702 říčních km
Plocha povodí:	3826,88 km ²
ČHP:	1-08-01-001/0 až 1-08-04-066/0
ČHP v řešeném území:	1-08-03-1010 až 1-08-03-1050

Kraj:	Jihočeský, Plzeňský, Středočeský
Okres:	České Budějovice, Český Krumlov, Klatovy, Písek, Plzeň – jih, Prachatice, Příbram, Strakonice
Správce toku:	Povodí Vltavy, s. p.

Holečkova 8, 150 24 Praha 5

závod Dolní Vltava

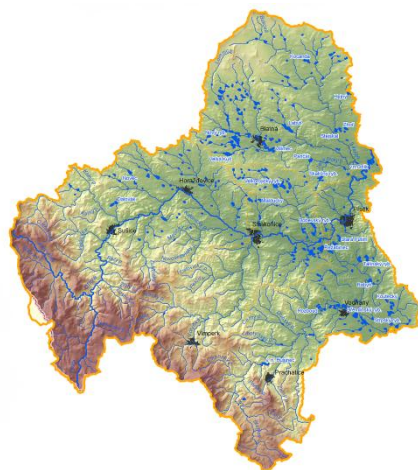
Grafická 36, 150 24 Praha 5

Provozní středisko Vltava-kaskáda

Grafická 36, 150 24 Praha 5

(Košut et Levitus, 2012; Ministerstvo zemědělství ČR, 2015; VÚV TGM, 2012; VÚV TGM, 2012a).

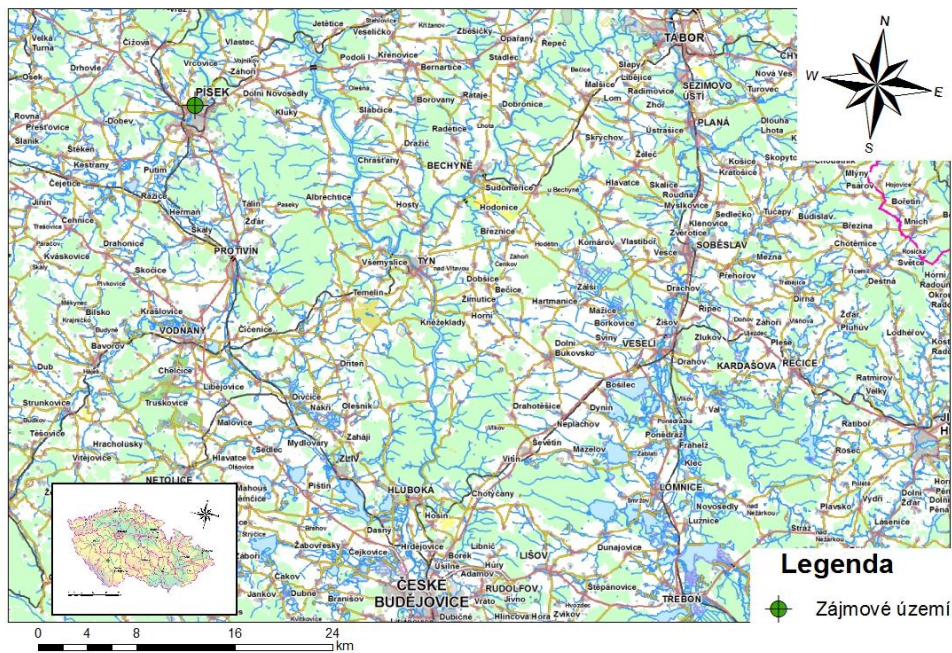
Řeka Otava vzniká soutokem Vydry a Křemelné u Čeňkovy pily na Šumavě 1,2 km jihozápadně od obce Svojshe v okrese Klatovy v Plzeňském kraji ve výšce 618,18 m. n. m. Délka toku je 112 km (včetně Vydry 136 km). Otava je levostranný přítok Vltavy, do které se vlévá na vodní nádrži Orlík na jejím 172,53 ř. km v nadmořské výšce 302,24 m pod hradem Zvíkov. Největším přítokem je Blanice (93,73 km), hlavními přítoky zleva jsou Ostružná, Lomnice, zprava Losenice, Nezděcký potok, Volyňka a právě Blanice. V povodí se nachází 4 768 vodních ploch s celkovou rozlohou 5 035 ha (bez vodní nádrže Orlík). Největší z nich je rybník Labuť (100,95 ha), specifický odtok je 6,86 l/s na 1 km². Řeka Otava protéká městy Sušice, Horažďovice, Strakonice, Písek (Kestřánek et al., 1984; Košut et Levitus, 2012; Říman J. et Štěpánek M., 1986; Synek J. et al., 2005).



Obr. č. 6 Povodí Otavy (Zdroj: Košut et Levitus, 2012)

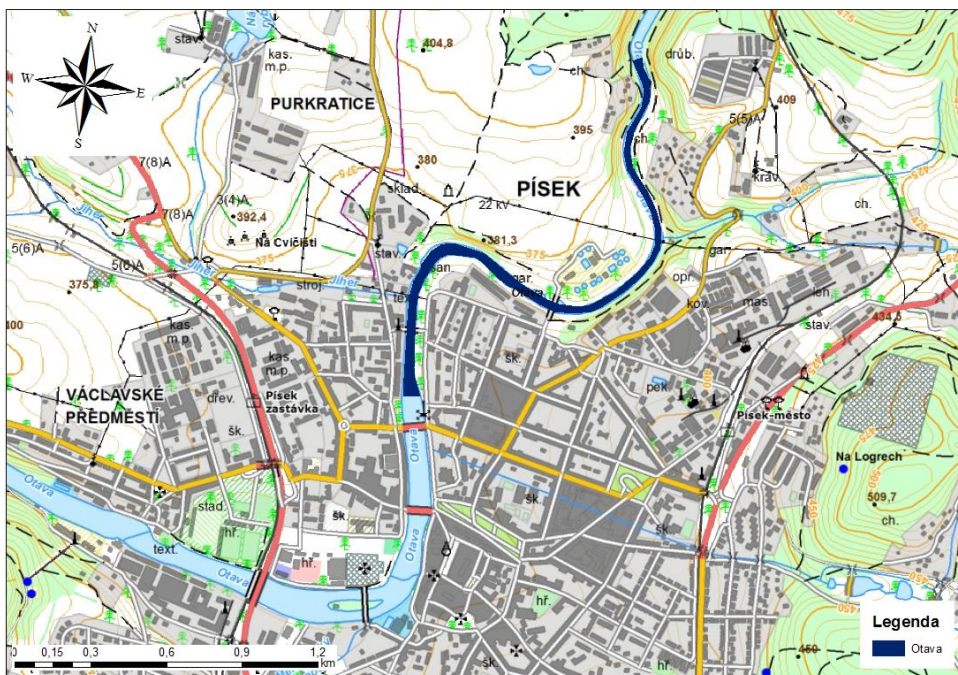
4.2 Zájmové území

Zájmové území se nachází v katastrálním území města Písku v Jihočeském kraji. Město leží přibližně 40 km severozápadně od krajského města České Budějovice a 40 km západně od města Tábor (viz Obr. č. 7). Jeho geografická poloha je určena souřadnicemi N 49°18'5 E 14°8'8 v souřadnicovém systému WGS – 84.



Obr. č. 7 Zájmové území

Pro potřeby této diplomové práce byl vybrán úsek řeky Otavy (číslo hydrologického pořadí: 1-08-03-101), která protéká městem Písek. Úsek řeky je vymezen říčním kilometrem 22,571 až 25,045 a nachází se v centru města a severovýchodně od centra (viz Obr. č. 8).



Obr. č. 8 Řešený úsek řeky Otava

4.2.1 Geomorfologické začlenění

Povodí Otavy se řadí do Hercynského systému a dle geomorfologického členění České republiky leží v provincii Česká vysočina. Zájmové území se nachází v subprovincii Česko-moravské soustavy, ovšem horní tok řeky Otavy patří do soustavy Šumavské. Písek se zájmovým územím patří do oblasti Středočeské pahorkatiny, celku Táborská pahorkatina, podcelku Písecká pahorkatina, okrsek Zvíkovská pahorkatina (CENIA, 2015).

4.2.2 Geologické a půdní podmínky

Z hlediska geologického se v nivě řeky nacházejí kvartérní a neogénní sedimenty (jíly, hlíny, písky, štěrky, slepence, pískovce). V okolí se nachází biotické granodiority, syenity, granity z karbonu a permu.

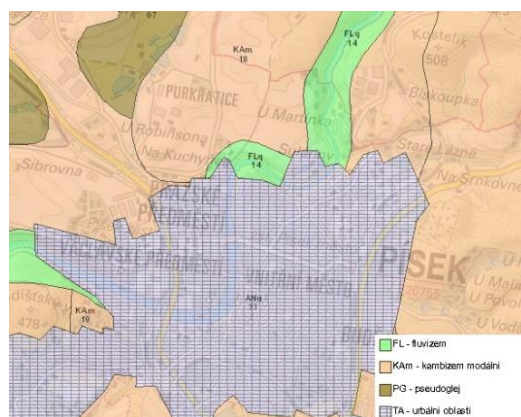


Obr. č. 9 Geologické členění (Zdroj: ČGS, 2015)

Také se zde nacházejí ruly a pararuly z paleozoika až proterozoika viz Obr. č. 9 (ČGS, 2015; ČGS et ČÚZK, 2015).

Hlavní půdní skupinou dle taxonomického klasifikačního systému půd ČR (TKSP) jsou zde kambizemě, okrajově pseudogleje a v toku řeky luvizemě. V zájmové oblasti převládají kambizemě (viz Obr. č. 10) (CENIA, 2015).

Zájmový úsek mimo městskou zástavbu patří zařazením typu krajiny podle reliéfu do krajiny zaříznutých údolí.



Obr. č. 10 Půdní typy (Zdroj: CENIA, 2015)

4.2.3 Biogeografická charakteristika lokality

Z hlediska fyto geografiky je území zařazeno do oblasti Českomoravského mezofytika v okrsku středního povltaví. Z hlediska potencionální přirozené vegetace spadá zájmové území u Otavy do střemchové doubravy a olšiny se zástupci stromů dub letní (*Quercus robur*), střemcha obecná (*Padus avium*), olše lepkavá (*Alnus glutinosa*) s ostřicí třeslicovitou (*Carex brizoides*), místy v komplexu s mokřadními olšinami (*Carici elongatae-Alnetum*) a společenstvy rákosin a vysokých ostřic (*Phragmito-Magnocaricetea*) (CENIA, 2015).

4.2.4 Sklonové poměry povodí Otavy

Nejvyšší nadmořská výška v povodí je 1375,36 m a nejnižší výška, která se nachází v ústí do Vltavy pod hradem Zvíkov, je 302,24 m. n. m. (Košut et Levitus, 2015). Absolutní spád povodí je určený jako:

$$I = \frac{h_{max} - h_{min}}{\sqrt{F}},$$

kde h_{max} je nejvyšší, h_{min} nejnižší kóta povodí a F plocha povodí. Hodnota sklonu I byla vypočítána 28,04 ‰ (Netopil et al., 1984; Košut et Levitus, 2012).

4.2.5 Hydrologické a klimatické podmínky

Průměrný roční průtok je v řece Otavě $23,4 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ a průměrný roční stav hladiny je 94 cm. Tab. č. 1 ukazuje nejvyšší zaznamenané vodní stavy na profilu v Písku. Stupně povodňové aktivity jsou vypsány v Tab. č. 2 (ČHMÚ, 2015)..

cm	Datum
880	13.08.2002
593	09.07.1954
508	21.12.1993
428	20.07.1981
391	18.06.1979
356	03.08.1991
350	23.08.1977
338	23.07.1980
338	11.06.1965

Tab. č. 1 Nejvyšší zaznamenané vodní stavy (Zdroj: ČHMÚ, 2015)

SPA	cm	m^3s^{-1}
bdělost	250	140
pohotovost	320	219
ohrožení	380	301

Tab. č. 2 Stupně povodňové aktivity (Zdroj: ČHMÚ, 2015)

Podle Quittovy klasifikace patří celé území do teplé, mírně suché oblasti (MT4) (Trasovník, 2012). Průměrná roční teplota vzduchu je mezi 7 - 8 °C, průměrný roční úhrn srážek je v okolí Písku 550 až 600 mm, přičemž průměrný roční počet srážkových dní s úhrnem ≥ 10 mm je 12 – 14 dní a průměrná roční relativní vlhkost vzduchu v rozmezí 75 – 80 %. (Štěpánová M., 2010).

5. Metodika

V této kapitole je popsán způsob vytvoření digitálního modelu terénu z poskytnutého datového modelu TIN a zpracování podkladů pro model MIKE 11. Další částí kapitoly je popsán postup sestavení modelů v programu MIKE 11, na jejichž základě byly dále porovnány hodnoty nadmořských výšek hladin pro N-leté průtoky (Q_1 , Q_5 , Q_{10} , Q_{50} , Q_{100}).

5.1 Použité podklady

5.1.1 Hydrologická data

Jako vstup do hydrodynamických modelů byly v této práci použity hodnoty N-letých průtoků, které byly poskytnuty Českým hydrometeorologickým úřadem. Hodnoty N-letých průtoků jsou uvedeny v *Tab. č. 3*.

N-leté průtoky	Q_1	Q_5	Q_{10}	Q_{50}	Q_{100}
Průtok [m^3s^{-1}]	146	300	394	680	837

Tab. č. 3 N-leté průtoky na řece Otavě (zdroj: ČHMÚ, 2015)

Tyto hodnoty byly vzaty z Evidenčního listu hlásného profilu č. 127 v Písku. Limnigrafická stanice se nachází na zeměpisných souřadnicích: 140847 v.d. 491849 s.š. na 24,7 km staničení. List je uveden v *příloze 11.1*.

5.1.2 Mapové a výškopisné podklady

Ve své diplomové práci jsem zpracovával data poskytnutá Fakultou životního prostředí ČZU v Praze, která získala tato data v rámci projektu číslo TA02020139 „Využití hydrologického měření při schematizaci koryt vodních toků pro potřeby hydrodynamických modelů na podkladě dat leteckého laserového skenování“ za podpory Technologické agentury ČR.

5.1.2.1 Geodetické zaměření

Podklady pro vytvoření příčných profilů poskytl státní podnik Povodí Vltavy. Jde o podklady, které vykreslují polohové a výškové body, příčné profily, podélné profily ve formátu *.pdf. Pro svou práci jsem využil 18 příčných profilů, které popisují samotný tvar koryta řeky. Zaměření inundačního území není úplné a bylo tak nutné jej doplnit, aby všechny profily měly kapacitu pro provedení stoleté vody.

5.1.2.2 Výškopis ve formě DMR 5G

Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G) v podobě nepravidelné trojúhelníkové sítě TIN poskytl Český úřad zeměměřický a katastrální ve formátu *.xyz v textovém souboru v kódování ASCII. Ten by měl nahradit stávající výškopisné modely poskytované Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním.

5.1.2.3 Říční mapa 1:2000

Ta byla poskytnuta státním podnikem Povodí Vltavy. Byla použita pro získání polohopisu samotné řeky Otavy a břehových linií.

5.1.2.4 Digitální ortofoto České republiky

Jedná se o fotografický obraz zemského povrchu. Ortofota jsou volně dostupná online jako datová vrstva z WMS serveru geoportálu Českého úřadu zeměměřického a katastrálního. Použity byly především jako další podklad pro určení polohopisu a břehových linií.

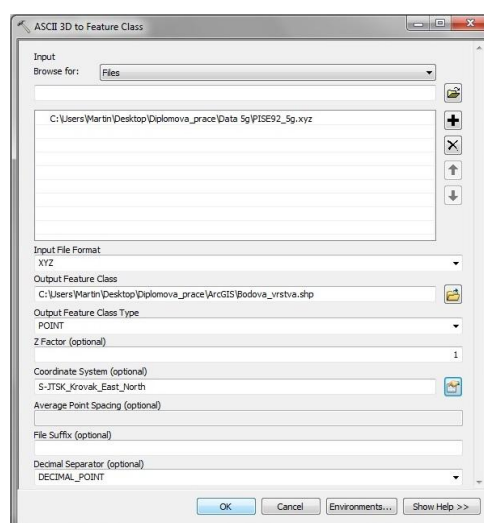
5.2 Práce v prostředí ArcGIS 10.1

K práci byl zvolen software ArcGIS společnosti ESRI pro jeho komplexnost. Tento geografický informační systém byl pro účely této práce použit k vytvoření digitálního modelu terénu prostřednictvím datového modelu TIN. Dále byl použit k tvorbě geometrie příčných řezů a vizualizaci výsledků.

5.2.1 Tvorba datového modelu TIN

Ze souboru *PISE92_5g.xyz*, poskytnutého ČZÚK, byla vytvořena bodová vrstva pomocí nástroje z 3D Analyst pro práci s trojrozměrnými daty *ASCII 3D to Feature Class* (viz Obr. č. 11).

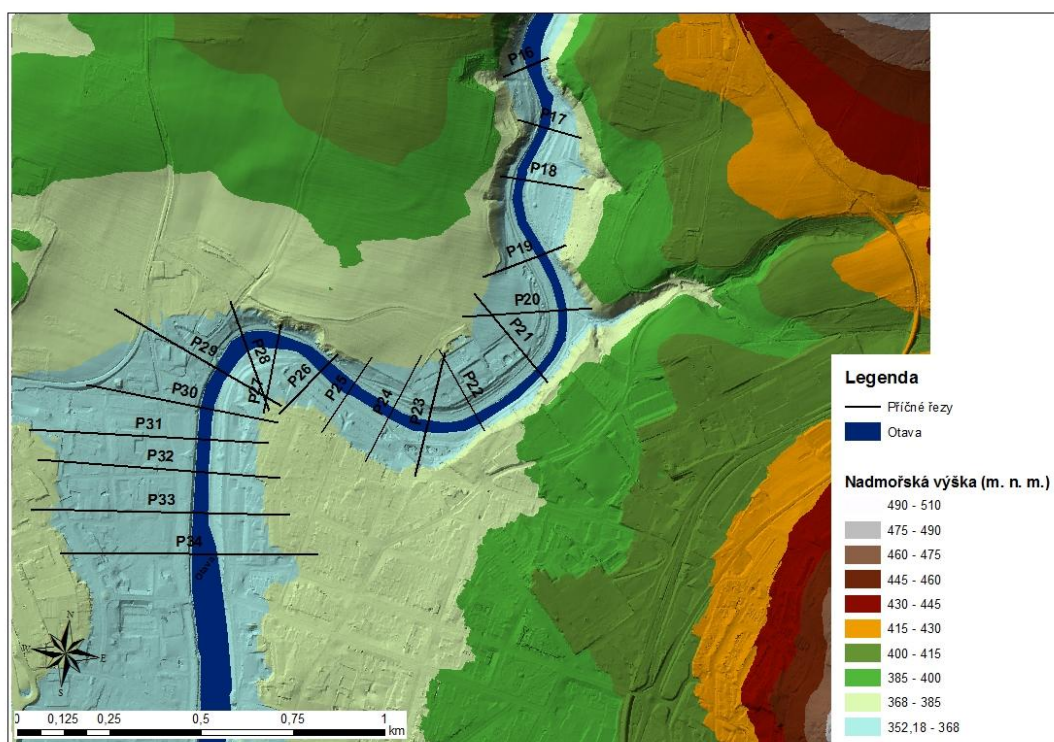
V dalším kroku jsem z vytvořeného shapefilu *Bodova_vrstva.shp* pomocí nástroje z 3D Analyst a funkce *Create TIN* zhotovil DMT ve formě modelu TIN.



Obr. č. 11 Vytvoření bodové vrstvy

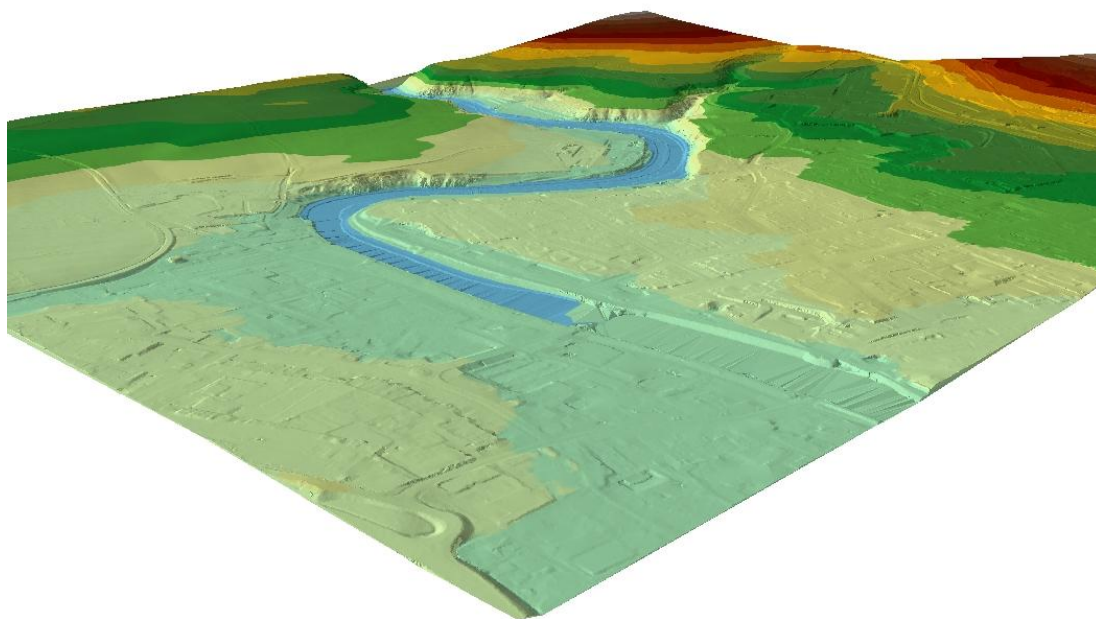
5.2.2 Získání příčných profilů z DMT

Pro srovnání geodeticky zaměřených profilů a profilů získaných z DMT bylo potřeba maximálně tyto řezy překrýt. Využil jsem tedy poskytnuté soubory od podniku Povodí Vltavy s vrstvami pro softwaru CAD. Nechal jsem si vykreslit umístění příčných profilů v prostředí GIS a vytvořil jsem si novou liniovou vrstvu s prodlouženými řezy. Ukázka vytvořeného modelu TIN zobrazení spolu s řekou Otavou a umístěním příčných řezů s jejich označením je vidět na *Obr. č. 12*.



Obr. č. 12 Model TIN se zájmovým územím

Výsledný model TIN se zájmovým územím je patrný na *Obr. č. 13*.

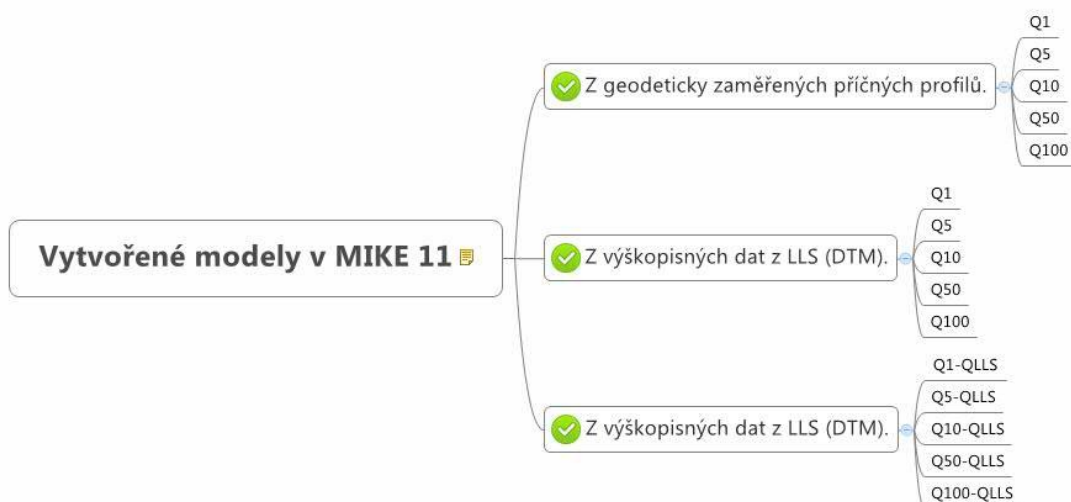


Obr. č. 13 3D model terénu TIN

S funkcí *Create line of Sight* jsem vyexportoval všechny body příčných řezů do Microsoft Office Excel. Body určené vzdáleností x a výškou y jsem pro další práci seřadil podle hodnot x .

5.3 Sestavení 1D modelu v programu MIKE11

Pro účely porovnání výstupů z hydrodynamického modelu byly sestaveny dva modely na základě různě získaných geometrických dat. Do prvního modelu byly použity geodeticky zaměřené příčné profily. Druhý model byl postaven na výškopisných datech z leteckého laserového skenování. Oba modely se tedy mezi sebou liší pouze v zadávaných příčných profilech. Třetí model byl opět řešen z dat DMT pro srovnání výstupů pro N -leté průtoky. Zde byl odečten průtok v době leteckého laserového skenování Q_{LLS} od N -letých průtoků Q_N . Pro přehlednost je vše znázorněno v Obr. č. 14.



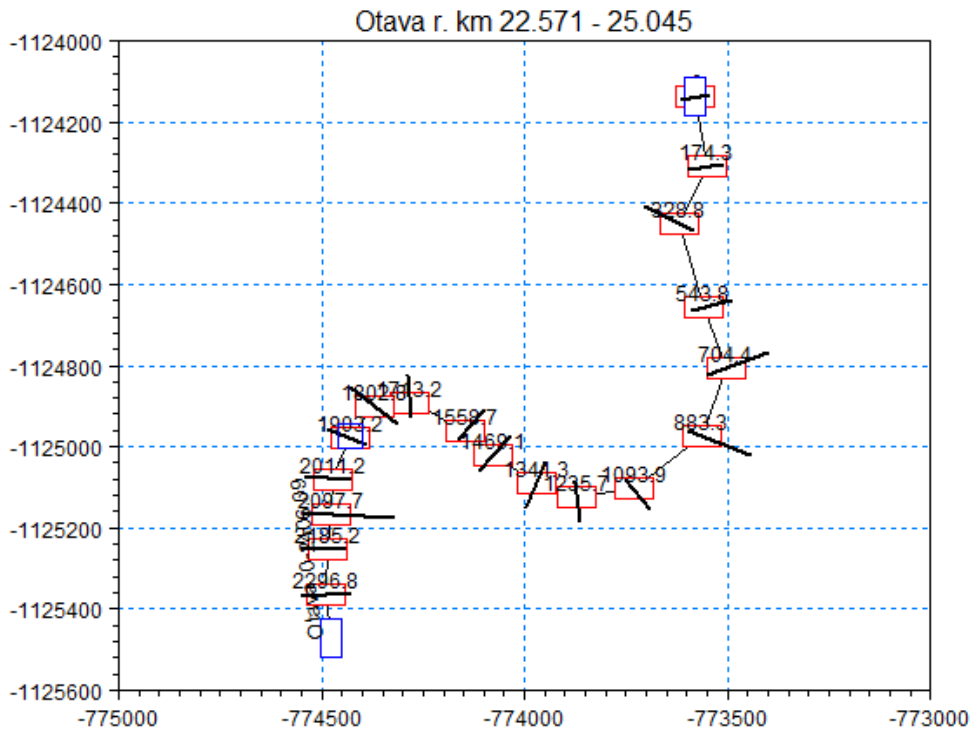
Obr. č. 14 Schéma vytvořených modelů

Práce v programu MIKE 11 je řešena v jednotlivých projektech, kde je pro každý projekt vytvořena soustava dílčích specifických souborů. Jedná se o soubor pro každý projekt, síť koryta, geometrická data příčných profilů, okrajové podmínky, průběh výpočtu simulace a výsledky pro každý model. Přednost této struktury je snadná aktualizace dat, možnost jejich propojení v různých projektech, či evidence a ukládání různě nastavených průběhů výpočtů a výsledků jednotlivých projektů.

5.3.1 Model s geodeticky zaměřenými profily

5.3.1.1 Schematizace říční sítě

Schematizaci hlavního toku jsem provedl v AcrGIS v nové liniové vrstvě nad online vrstvami *CENIA/cenia_t_podklad* (GEOPORTÁL, 2015) a *Prohlížečí službou WMS – Ortofoto* (ČUZK, 2015). Liniovou vrstvu osy s příčnými profily toku jsem nahrál jako podklad do editoru River Network. Při otevření editoru je potřeba zadat typ souřadnicového systému a souřadnice oblasti, se kterou se pracuje. V mém případě to byl systém S-JTSK_Krovak_East_North a souřadnice spodního levého bodu X: -775000 m, Y: -1125600 m a pravého horního bodu X: -773000 m, Y: -1124000 m. Vytvoření schematizace bylo provedeno proti proudu, tj. v „negative flow direction“ (viz Obr. č. 15).

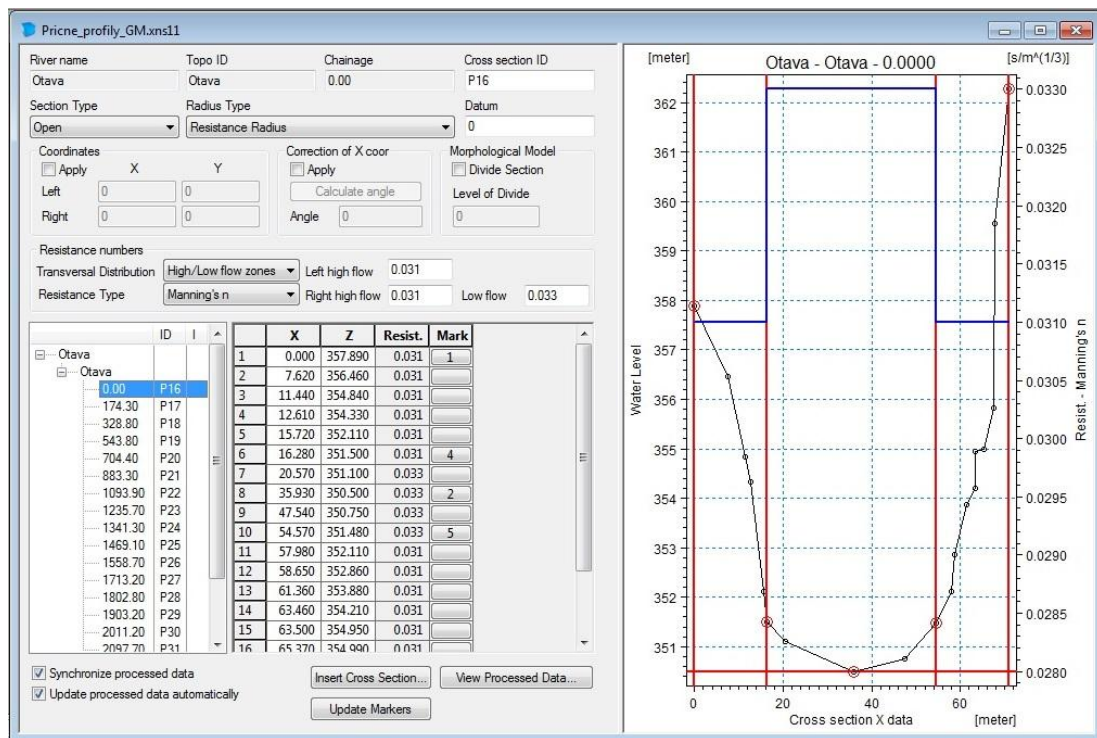


Obr. č. 15 Schematizace říční sítě v programu MIKE 11

Toto nastavení je dáno rozdílným způsobem určování staničení v podmínkách Dánska, kde software vznikl, a v podmínkách v České republice. Řeky v České republice mají většinou zcela jasné ústí, proto se staničení počítá od ústí. Zatímco u řek, které ústí ve složitých deltách do moře, se nulové staničení pokládá k prameni řeky (DHI, 2003; Ing. Maxim Bernstein, 2015, in verb.). Celý soubor byl uložen ve formátu *.nwk11. Tento soubor beze změn je použitý všech třech modelech.

5.3.1.2 Zadání příčných profilů

Pro vytvoření příčných profilů byl otevřen geometrický editor se souborem Cross Sections ve formátu *.xns11. Vytvořil jsem postupně 18 příčných profilů, které vznikly z dat geodetického zaměření. U každého profilu jsem nejdříve určil staničení, na kterém se nachází upravovaný profil. Následně byly vloženy nadmořské výšky se vzdálenostmi od počátečního levého bodu při pohledu po směru toku z geodetického zaměření. U všech profilů byl označen levý břeh, dno a pravý břeh pomocí marek 1, 2 a 3. Umístění marek 1 a 3 určuje, se kterými částmi profilu bude software počítat. Dále byly přidány značky 4 a 5, které vymezují vlastní koryto toku (viz Obr. č. 16) (DHI, 2003).

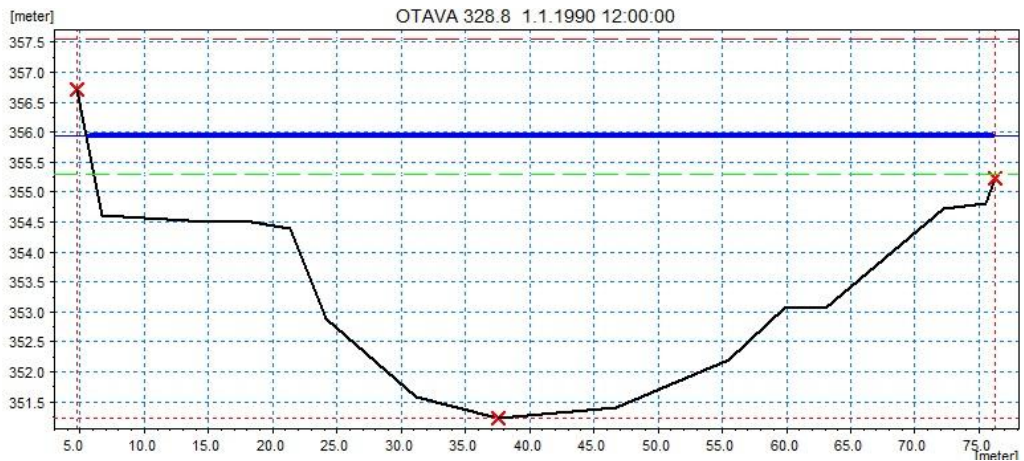


Obr. č. 16 Ukázka příčného profilu v programu MIKE 11

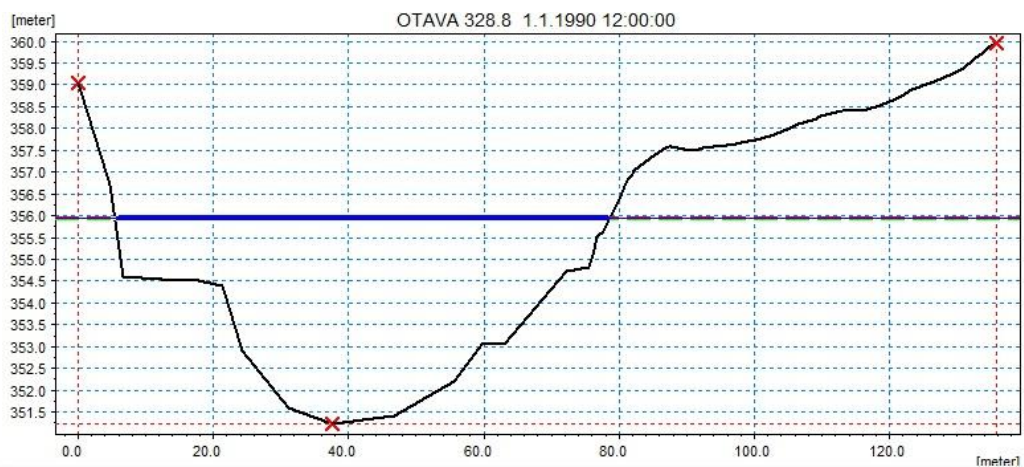
Drsnosti v jednotlivých profilech jsem zadal zvlášť pro dno, levou a pravou inundaci. Ty jsou určeny markami 4 a 5. Pro koryto byla použita drsnost dle Manningova součinitele drsnosti n o hodnotě 0,033. Pro celou pravou inundaci jsem zvolil n o hodnotě 0,031. Levý břeh jsem rozdělil na dvě skupiny. U profilů č. 16 až č. 28 jsem zanechal hodnotu n 0,033, pro profily č. 29 až č. 34 jsem určil Manningův součinitel drsnosti n jako 0,028, neboť levý břeh řeky v těchto profilech je tvořen nábrežní zdí (DHI, 2003).

Při následné simulaci byla zjištěna nedostatečná kapacita geodeticky zaměřených příčných profilů. Simulace ukázala varovné hlášení, že hladina vody přesáhla okrajové body označené markami 1 a 3. Došlo tak ke zkreslení výsledků. Tento problém jsem vyřešil prodloužením geodeticky zaměřených příčných profilů daty získanými z digitálního modelu terénu.

Jako příklad zde uvádím profil č. 18, jehož data z geodetického zaměření se pro vyšší průtoky po simulaci jeví jako nepostačující. Nepostačující kapacitní profil z geodetických dat je na Obr. č. 17. Na Obr. č. 18 je stejný profil prodloužený o data z DMT tak, aby bylo zaručeno provedení nejvyššího průtočného množství při 100letém průtoku (Q_{100}).



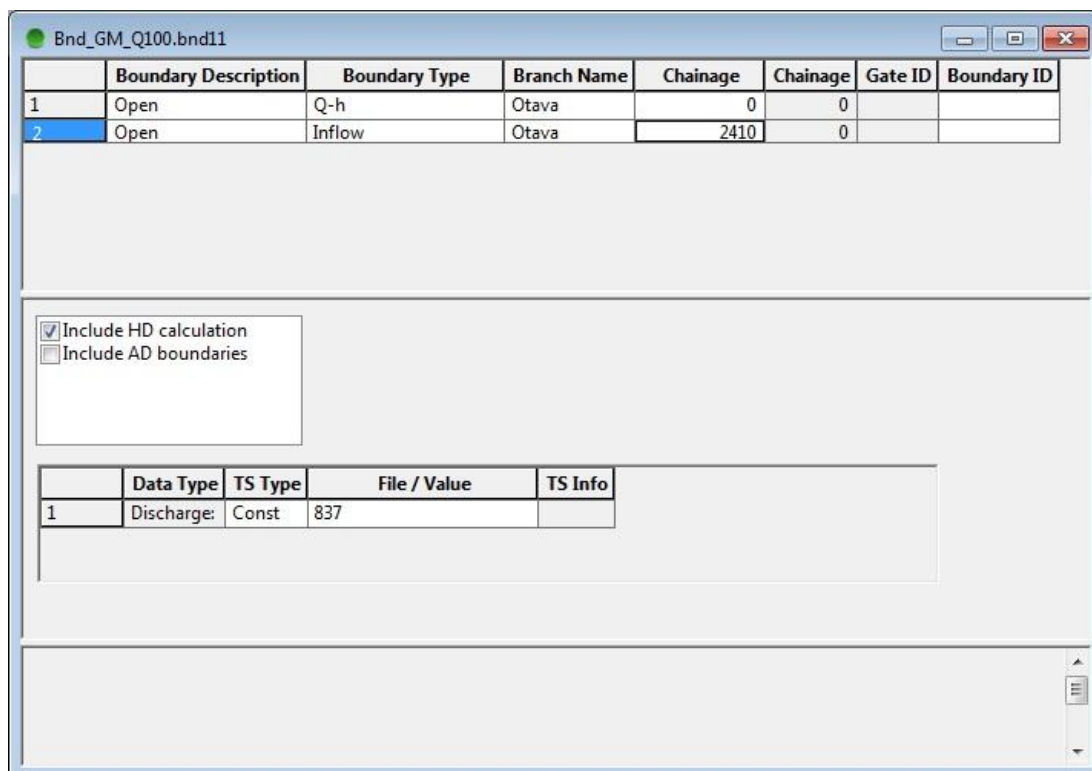
Obr. č. 17 Nepostačující geodeticky zaměřený profil



Obr. č. 18 Příčný profil doplněný od data z DTM

5.3.1.3 Stanovení okrajových podmínek

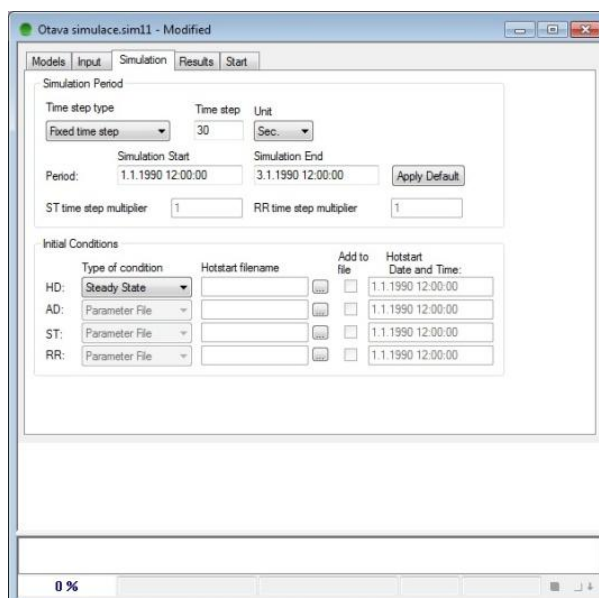
Pro každý N-letý průtok byl vytvořen samostatný soubor ve formátu **.bnd11*, popisující okrajové podmínky. Horní okrajová podmínka je vždy popsána N-letým průtokem ve vstupním profilu č. 34 získanými od Povodí Vltavy s. p. Dolní okrajová podmínka na koncovém profilu č. 16 je zadána Q-h křivkou pro kritické proudění, kterou je MIKE 11 schopen dopočítat ze zadaných dat (DHI, 2003; Ing. Maxim Bernstein, 2015, in verb.). Nastavení okrajových podmínek je vidět na Obr. č. 19.



Obr. č. 19 Editor okrajových podmínek

5.3.1.4 Výpočet ustáleného rovnoměrného proudění

Pro simulaci průtoků byl nastaven 30 sekundový krok pro období dvou dnů. Tento časový úsek by měl být dostatečně dlouhý pro vytvoření odezvy. Počáteční podmínky byly nastaveny na výchozím typu „Steady State“. MIKE 11 při této podmínce vypočte automaticky ustálený stav pro celý model (DHI, 2003; Ing. Maxim Bernstein, 2015, in verb.). Nastavení pro simulaci proudění je vidět na Obr. č. 20.



Obr. č. 20 Nastavení simulace

5.3.2 Model s příčnými profily získanými z DMT

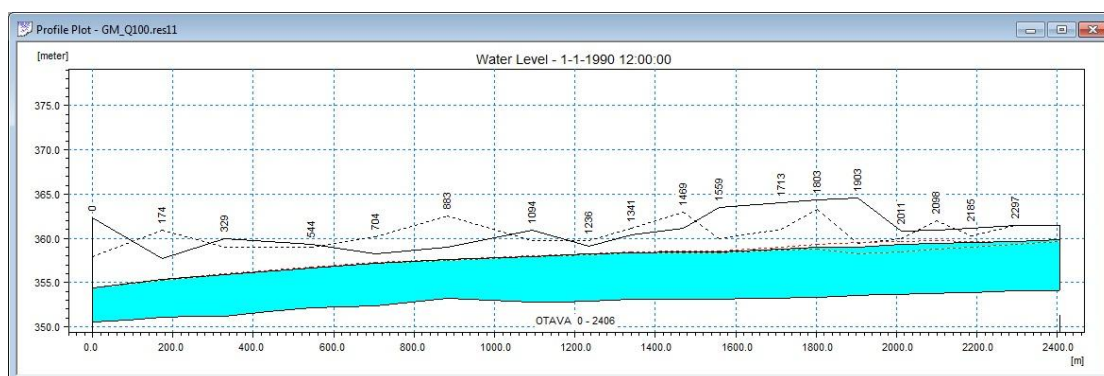
Tento model se skládá ze stejné schematizace koryta jako model předchozí. Byly zde nastaveny příčné profily zcela importované z geometrie profilu z ArcGIS. Drsnost, okrajové podmínky a simulace zde byla nastavena zcela stejně. Rozdíl je tedy pouze ve výškopise území, poloze břehových linií a ne zcela zahloubeném profilu koryta. Příčné profily získané z DMT jsou složeny z mnoha bodů, tím mnohem lépe vystihují niance vyobrazeného inundačního území.

5.3.3 Model s příčnými profily z DMT se sníženým průtokem

V tomto modelu byla použita stejná schematizace koryta. Byly zde použité příčné profily z DMT, stejně určené drsnosti a nastavená stejná simulace. Rozdíl je v horní okrajové podmínce. Ta byla určena N-letým průtokem (Q_N), od kterého byl odečten průtok (Q_{LLS}), který byl naměřen v Písku na limnigrafické stanici v době leteckého laserového skenování.

5.4 Výstupy z MIKE 11

Po úspěšné simulaci jsem v MIKE View otevřel výsledkový soubor ve formátu *.res11. Zkontroloval jsem podélný profil (viz Obr. č. 21) a příčné profily, zda nedošlo k vystoupaní hladiny vody mimo zadané profily. Následně byly vyexportovány výsledky nadmořských výšek hladin pro jednotlivé dané průtoky do tabulek.



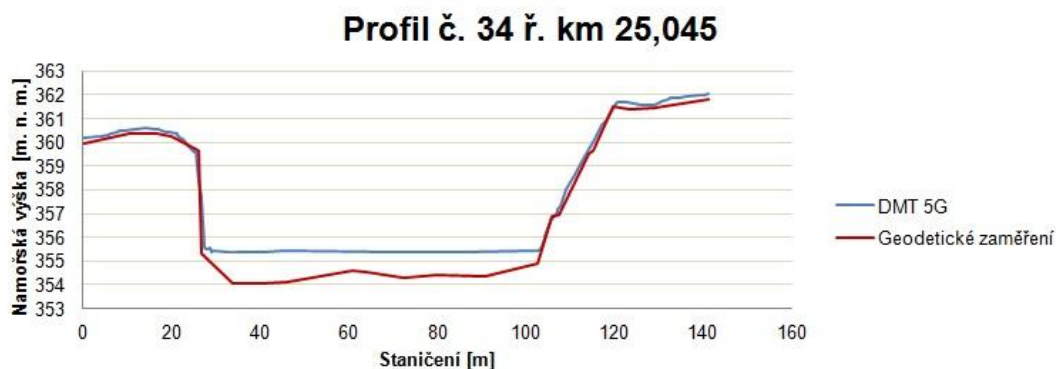
Obr. č. 21 Podélný profil

6. Výsledky

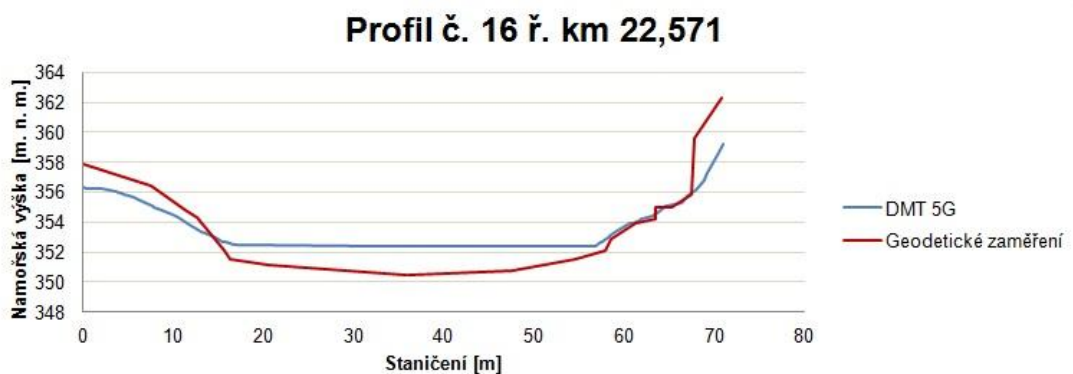
Tato kapitola obsahuje porovnání vstupních dat, popis výstupů, které byly zhotoveny na základě tří hydrodynamických modelů v MIKE 11. A dále porovnání výsledků získaných z těchto modelů.

6.1 Porovnání příčných profilů z geodetického zaměření a DMT

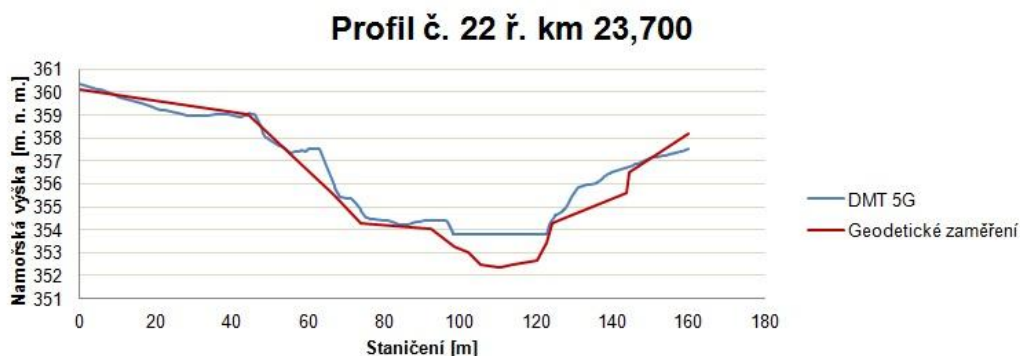
Jako první byly porovnány samotné příčné profily na základě poskytnutých dat z geodetického zaměření a profilů vygenerovaných z DMT . Na ukázkou zde uvádím 3 profily, a to horní (viz Obr. č. 22), koncový dolní (viz Obr. č. 23) a jeden mezi těmito profily (viz Obr. č. 24).



Obr. č. 22 Profil č. 34

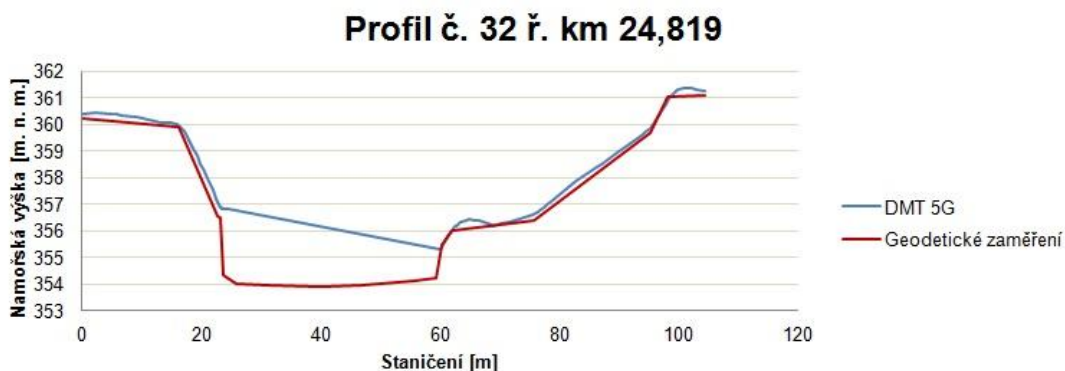


Obr. č. 23 Profil č. 16



Obr. č. 24 Profil č. 22

Z těchto obrázků je zřejmé, že data z LLS nejsou natolik přesná, aby přesně vykreslila reálný tvar říčního koryta. Je to způsobeno tím, že laser, který se při této metodě měření používá, nepronikne skrz hladinu, ale odrazí se od ní. Rozdíl výšek tak může v některých případech dosahovat i několik metrů. Ukázka výsledků vykreslení všech 18 profilů naleznete v příloze č. 11.2. Navíc v některých případech dochází k nepřesnému zachycení hladiny vody, jak je vidět na Obr. č. 25, kde vidíme nereálně nakloněnou hladinu vody.



Obr. č. 25 Nepřesně zaměřená hladina vody

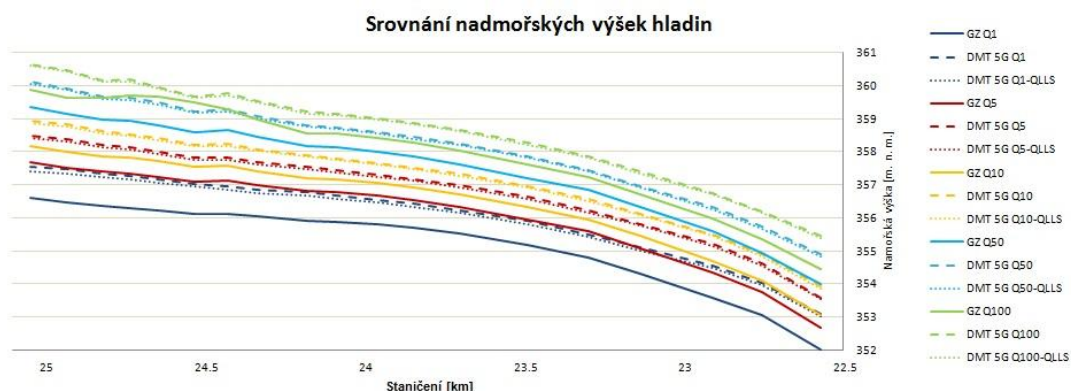
6.2 Porovnání výstupů získaných z hydrodynamických modelů

Tato kapitola obsahuje porovnání nadmořských výšek hladin, maximálních hloubek koryt získaných na základě výsledků hydrodynamických modelů. Byly vytvořeny 3 modely každý o 5 průtocích. První model z geodeticky zaměřených profilů (GZ), druhý z profilů získaných z DMT (DMT). U těchto modelů byly jako vstupy použity N-leté průtoky (Q_1 , Q_5 , Q_{10} , Q_{50} , Q_{100}). Třetí model byl postaven opět

z dat DMT, ale byly použity N-leté průtoky snižené o průtok, který byl naměřen při sběru leteckého laserového skenování (Q_{LLS}).

6.2.1 Porovnání nadmořských výšek hladin

Grafické srovnání nadmořských výšek hladin je možné vidět v *Obr. č. 26*, kde jedna barva vždy znázorňuje jednu sadu průtoků.



Obr. č. 26 Srovnání nadmořských výšek hladin

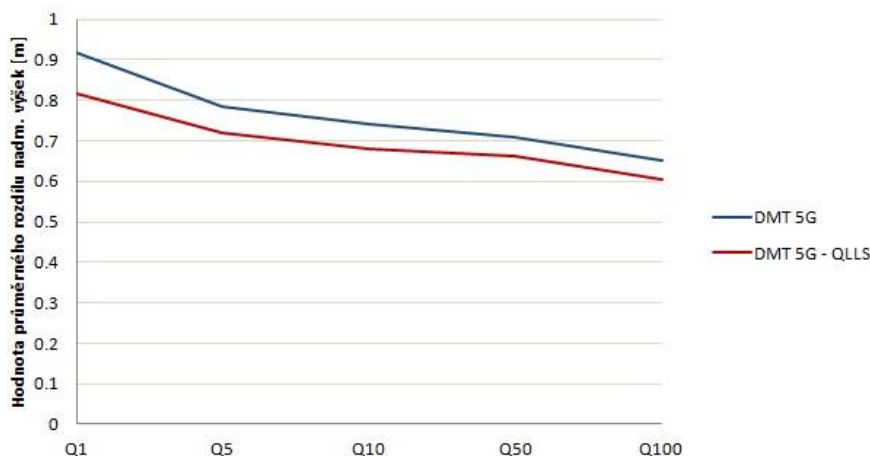
Další porovnání bylo provedeno pomocí výpočtu rozdílu výšek hladin v každém profilu pro každý N-letý průtok. Jako příklad jsou zde uvedeny 3 profily, a to horní profil č. 34, koncový dolní profil č. 16 a profil č. 22, který je mezi nimi (viz *Tab. č. 4*). Rozdíl výšek mezi všemi průtoky v modelech jsou v *příloze č. 11.3*.

Profil	Staničení profilu	N-letost	Q	Výška hladiny GZ	Výška hladiny DMT 5G	Rozdíl	Výška hladiny DMT 5G - QLLS	Rozdíl
	[km]		[m ³ /s]	[m. n. m.]	[m. n. m.]	[m]	[m. n. m.]	[m]
16	22.571	Q1	146	352.01	353.08	1.07	353.03	1.02
		Q5	300	352.68	353.59	0.91	353.54	0.86
		Q10	394	353.04	353.91	0.87	353.86	0.82
		Q50	680	353.99	354.89	0.9	354.84	0.85
		Q100	837	354.44	355.45	1.01	355.39	0.95
22	23.7	Q1	146	355.52	356.24	0.72	356.15	0.63
		Q5	300	356.34	356.98	0.64	356.93	0.59
		Q10	394	356.72	357.33	0.61	357.28	0.56
		Q50	680	357.62	358.23	0.61	358.19	0.57
		Q100	837	358.03	358.65	0.62	358.61	0.58
34	25.045	Q1	146	356.6	357.53	0.93	357.41	0.81
		Q5	300	357.67	358.48	0.81	358.4	0.73
		Q10	394	358.17	358.95	0.78	358.88	0.71
		Q50	680	359.34	360.11	0.77	360.06	0.72
		Q100	837	359.87	360.64	0.77	360.6	0.73

Tab. č. 4 Přehled dosažených hodnot výšek hladiny a jejich rozdíl

Při pohledu do výsledků se potvrzuje, jasně je to vidět u profilů č. 25 až 32, že spolu se zvyšujícím se průtokem se vypočtené hladiny přibližují. Je to především dáno průtočným profilem koryta. Při nízkých průtocích je rozdíl výšek větší, protože příčné profily z LLS jsou plošší, neboť zde chybí část koryta pod hladinou vody. Je zde tedy nižší kapacita a dochází mnohem dříve k rozlivu do inundace. U 100letého průtoku dochází u některých profilů ke zvýšení rozdílu mezi výškami hladin. To je způsobeno tvarem údolí, u těchto profilů je tvar koryta užší a jsou zde příkré strany svahu údolí, voda zde vystoupá výš, proto dojde k nárůstu rozdílu výšky hladiny. Jasný klesající trend rozdílu nadmořských výšek hladin s ohledem na zvyšující se průtok mezi geodeticky zaměřenými profily a profily z DMT 5G je vidět v grafu na Obr. č. 27. Na tomto obrázku lze také vyčíst, že odečtení průtoku Q_{LLS} má malý, ovšem zanedbatelný vliv na výšku hladiny. Na druhou stranu je zajímavý údaj, že průměrný rozdíl výsledných nadmořských výšek mezi geodeticky zaměřenými daty a daty z leteckého laserového snímkování je u jednoletého průtoku menší než 1 výškový metr, u stoletého průtoku se jedná přibližně o 65 cm. A pokud využijeme informace o průtoku, který byl během leteckého laserového skenování, je tento rozdíl u 1letého průtoku přibližně 80 cm a u 100letého se dostaneme až na hodnotu 60 cm.

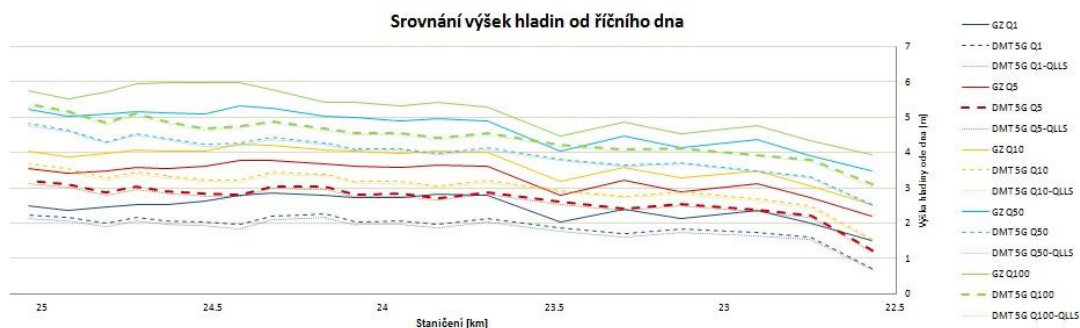
Průměrná odchylka nadmořských výšek hladin od hladiny modelu z geodeticky zaměřených profilů



Obr. č. 27 Průměrná odchylka nadmořských výšek hladin

6.2.2 Porovnání výšek hladin od říčního dna

Grafické srovnání výšek hladiny ode dna koryta lze vidět na Obr. č. 28, kde jedna barva znázorňuje jednu sadu průtoků. Je zde odebrán trend klesajícího koryta.



Obr. č. 28 Srovnání výšek hladin od říčního dna

Další porovnání bylo provedeno pomocí výpočtu rozdílu výšek hladin v každém profilu pro každý N-letý průtok. Jako příklad jsou zde uvedeny opět 3 profily, a to horní profil č. 34, koncový dolní profil č. 16 a profil č. 22, který je mezi nimi (viz Tab. č. 5). Rozdíl výšek hladin mezi všemi průtoky v modelech jsou v příloze č. 11.3.

Profil	Staničení profilu [km]	N-letost	Q [m ³ /s]	Výška hladiny GZ [m]	Výška hladiny DMT 5G [m]	Rozdíl [m]	Výška hladiny DMT 5G- QLLS [m]	Rozdíl [m]
16	22.571	Q1	146	1.51	0.72	0.79	0.67	0.84
		Q5	300	2.18	1.23	0.95	1.18	1
		Q10	394	2.54	1.55	0.99	1.5	1.04
		Q50	680	3.49	2.53	0.96	2.48	1.01
		Q100	837	3.94	3.09	0.85	3.03	0.91
22	23.7	Q1	146	2.79	2.13	0.66	2.04	0.75
		Q5	300	3.61	2.87	0.74	2.81	0.8
		Q10	394	3.99	3.22	0.77	3.16	0.83
		Q50	680	4.89	4.12	0.77	4.08	0.81
		Q100	837	5.3	4.54	0.76	4.5	0.8
34	25.045	Q1	146	2.48	2.24	0.24	2.12	0.36
		Q5	300	3.55	3.19	0.36	3.12	0.43
		Q10	394	4.05	3.66	0.39	3.59	0.46
		Q50	680	5.22	4.83	0.39	4.77	0.45
		Q100	837	5.75	5.36	0.39	5.31	0.44

Tab. č. 5 Porovnání výšek hladin ode dna a jejich rozdíly

Z těchto dat je vidět, že hloubky říčního toku geodeticky zaměřených dat jsou větší. Způsobuje to, že se tím voda dlouho udrží v korytě. Kdežto u nezahluobeného koryta z DMT je koryto již širší, a proto je hloubka při stejném průtoku nižší, je tím ale také větší šířka hladiny. Je zde ovšem také vidět, že odečtení průtoku, který byl naměřen během leteckého laserového skenování, nemá větší vliv na hloubku vody v korytě.

7. Diskuze

Pro oblast modelování vodních toků a pro zaměření jejich koryt a příčných profilů jsou v současné době používána data nejčastěji z geodetického zaměření. Pro mapování inundačních území se využívají data pořizovaná leteckou fotogrammetrií. Nejmodernější metodou pořizování těchto dat na území České republiky je letecké laserové skenování zemského povrchu. Jedná se o digitální modely reliéfu. Poslední takový model České republiky je vytvořen 5. generací digitálního modelu reliéfu (DMR 5G).

Jestliže se geodetické zaměření provede správně, vyznačuje se vysokou přesností, což je důležitý předpoklad. Právě ten nebyl dle mého názoru zcela splněn při pořizování geodetických dat, která byla poskytnuta Povodím Vltavy s. p. pro tuto diplomovou práci. Myslím tím zaměření příčných profilů ve velkých vzdálenostech od sebe, což je pro použití v hydrodynamických modelech velmi limitující. Nemohla tak být přesněji popsána členitost toku a jeho jistá meandrovitost v terénu. Byl tím zkrácen jeho příčný profil, zejména ve spodní části toku, a tím byl zvýšen podélný sklon. Další nedostatek vidím v tom, že byly geodeticky zaměřené příčné profily příliš krátké a bylo potřeba je prodlužovat, aby tak došlo ke zvětšení průtočné kapacity. Toho bylo dosaženo prodloužením příčných profilů na základě DMT. Ovšem zde by mohlo dojít k jisté chybě v navazování obou profilů na sebe.

Také jsem byl upozorněn Ing. Maximem Bernsteinem z DHI a. s., se kterým jsem konzultoval vytvoření modelu v softwaru MIKE 11, že jde o velice krátký úsek na to, aby se ukázaly hydrodynamické nedostatky modelu. Pro zkušební potřeby jsem vytvořil modely, kde jsem využil zadání jiných okrajových podmínek, ty mi byly doporučeny právě Ing. Bernsteinem, šlo výpočet Q-h křivky u dolní podmínky na základě Manningova součinitele drsnosti n zjištěného podélného sklonu koryta. Tento model samozřejmě dával zcela jiné výsledky nadmořských výšek, zvláště v koncových dolních profilech. Výpočet byl proveden nakonec na základě kritické výšky v posledním profilu, aby se dal model kdykoli zopakovat a byla podmínka pro všechny modely stejná. Ovšem i tak si myslím, že tím nebyly okrajové podmínky zcela jasně určeny, ale pro kontrolu rozdílů výstupů z hydrodynamických modelů je tento postup vyhovující.

Pro účel této diplomové práce postačily zcela zjednodušené modely, které byly postaveny s cílem porovnat výstupy z hydrodynamických modelů. Jistě bych se přikláněl v další studii k využití delšího a hlavně širšího úseku toku. Postavil bych

zkalibrovaný model s využitím reálnějších údajů o drsnostech koryta a oblasti v okolí toku. A také bych použil data reálné povodňové situace pro přesnější porovnání geodeticky zaměřených dat a dat získaných leteckým laserovým skenováním.

8. Závěr

Při mém šetření a vyhledávání informací pro diplomovou práci jsem zjistil, že problematika výškopisných dat a jejich použití v souvislosti s modelováním vodních toků a povodňových analýz je dlouhodobé téma. Nejzákladnější otázkou je, zda používat geodeticky zaměřená data, která se vyznačují tím, že jsou nejpřesnější, pokud je měření provedeno správně, ale na druhou stranu jejich sběr je nejpomalejší a asi i nejdražší. Nebo zda využít rychlejší, cenově dostupnou metodu leteckého laserového skenování. Hlavní roli při pořizování těchto výškopisných dat totiž jistě hraje kvalita, dostupnost a v neposlední řadě cena, ale také celistvost. A právě použití dat z LLS pro posuzování vodních toků, bylo předmětem této práce.

Hlavním cílem této diplomové práce bylo posouzení využitelnosti dat získaných leteckým laserovým skenováním v poslední generaci digitálního modelu reliéfu (DMR 5G) při tvorbě návrhu protipovodňových opatření ve srovnání s podklady geodetickým zaměřením. To bylo docíleno použitím DMT, jehož postup tvorby v prostředí GIS z dat leteckého laserového skenování byl v metodice popsán. Z DMT 5G byly vyexportovány příčné profily odpovídající svým polohopisem geodeticky zaměřeným, přičemž obsahovaly výškové souřadnice z DTM, což bylo také popsáno. Byly sestaveny 3 hydrodynamické modely, a to jak z geodetických podkladů, tak z dat digitálního modelu terénu. Třetí model počítal s N-letými průtoky sníženými o průtok, který byl naměřen během LLS. Byl také popsán postup vytvoření hydrodynamického modelu MIKE 11 pro různé varianty výpočtu. Potom byly porovnány samotné geometrické vstupy do těchto modelů, ve formě vykreslených příčných profilů.

V přímém porovnání geometrických vstupů do modelu bylo zjištěno, že dochází na podkladech LLS ke schematizaci příčných profilů koryta. Je tak oproti geodetickému zaměření nepřesná. Hlavní nedostatek je zapříčiněn neprostupností laserových paprsků vodní hladinou, které se od ní odrážejí, takže získané body na toku jsou vlastně kótami vodní hladiny.

K největším rozdílům ve výškách hladin dochází, jak bylo zjištěno porovnáním výsledků modelů, když tok prochází úzkým prostorem, například úzkým zařízlým údolím. Odstraněním tohoto problému může být dodatečné zahloubení koryta.

Řešení odečtením průtoku, který byl zjištěn v daném toku během pořizování dat LLS, pozitivně ovlivní výsledky, ale jen do jisté míry, a to u malých průtoků. S většími průtoky se postupně efekt odečtení průtoku ztrácí. Pokud dojde k

vybřežení vody do širokého území i z geodeticky zaměřeného koryta, začínají se hodnoty nadmořských výšek a tím i šířek hladin postupně vyrovnávat, což mě přivádí ke zvážení možnosti použít data z DMR 5G spíše k mapování inundačních území, kde by mohly, díky své přesnosti a relativní jednoduchosti práce s nimi, nahradit leteckou fotogrammetrii. Na druhou stranu rozdíl hladin mezi geodetickými a DMT podklady, jsou v průměru u mého šetření do výšky 1 metru, u velkých průtoků se pohybují okolo 70 cm. K využití určených aktivních záplavových zón pro budoucí výstavbu by se takto získaná data využít dala.

Letecké laserové skenování, ale i pozemní se těší v poslední době velkému zájmu. Prochází obrovským vývojem, který je zaměřen především na zvyšování hustoty bodů, jak v horizontálním, tak vertikálním směru, ale i neustálého zpřesňování souřadnic jednotlivých bodů. V budoucnu se dá očekávat, že přesnost dosáhne takové úrovně, že bude možné k modelování povodňových rizik a událostí tato data využívat. A v daném čase řešit a modelovat nastalé situace na vodních tocích díky modelu TIN získaných LLS. Je třeba dále věnovat výzkumu této technologii velkou pozornost.

9. Přehled použité literatury

BRÁZDIL K., 2009: *Projekt tvorby nového výškopisu území České republiky. Geodetický a kartografický obzor, ročník 55 (97), č. 7, s. 145-151.*

BRÁZDIL K., 2012: Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 5. generace (DMR 5G). *Zeměměřický úřad vojenský geografický a hydrometeorologický úřad, online: http://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA_ZPRAVA_DMR_5G.pdf, cit. 13. 1. 2015.*

BŘEZKOVÁ L., 2006: Předpovědní systém HYDROG. *In: ČHMÚ: Meteorologické a hydrologické vyhodnocení jarní povodně 2006 na území ČR. Český hydrometeorologický ústav, Praha: C51-C52, online: <http://voda.chmi.cz/pov06/pdf/c52.pdf>, cit. 20. 4. 2015.*

Cenia, 2012: Národní geoportál INSPIRE. *Národní geoportál INSPIRE, online: <http://geoportal.gov.cz/web/guest/home>, cit. 13. 1. 2015.*

ČGS, 2015: Geologická mapa 1:25 000. *online: http://mapy.geology.cz/geocr_25/, cit. 11. 4. 2015.*

ČGS et ČÚZK, 2015: Mapová aplikace, verze 1B.2. *online: http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show_map.php?mapa=g50zj&y=774300&x=1126100&r=2000&s=1&legselect=0, cit. 3. 2. 2015.*

ČHMÚ, 2015: Evidenční list hlásného profilu č. 127. *online: http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=307230, cit. 16. 2. 2015.*

ČÚZK, 2015a: Ortofoto mapový podklad. *online: http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_PUB/WMSservice.aspx, cit. 3. 2. 2015.*

ČÚZKa, 2015: Výškopis – úvod. *online: [http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(3jqz0fqrz11gajsyjy32ng0\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&text=vyskopis&side=vyskopis&head_tab=sekce-02-gp&menu=30](http://geoportal.cuzk.cz/(S(3jqz0fqrz11gajsyjy32ng0))/Default.aspx?mode=TextMeta&text=vyskopis&side=vyskopis&head_tab=sekce-02-gp&menu=30), cit. 21. 4. 2015.*

DHI, 2003: MIKE 11 – a Modelling System for Rivers and Channels: Short Introduction Tutorial. *Danish Hydraulic Institute, Hørsholm, Denmark, 88 s., online: <https://www.tu-braunschweig.de/Medien-DB/geoekologie/mike-11-short-introduction-tutorial.pdf>, cit. 3. 3. 2015.*

DHI, 2007: MIKE SHE User Manual Volume 1: User Guide. *Danish Hydraulic Institute, Hørsholm, Denmark, 396 s., online:* http://www.hydroasia.org/jahia/webdav/site/hydroasia/shared/Document_public/Project/Manuals/WRS/MIKE_SHE_UserGuide.pdf, cit. 5. 4. 2015.

DHI, 2007a: MIKE 21 FLOW MODEL Hydrodynamic Module User. *Danish Hydraulic Institute, Hørsholm, Denmark, 90 s., online:* http://www.hydroasia.org/jahia/webdav/site/hydroasia/shared/Document_public/Project/Manuals/WRS/MIKE21_HD.pdf, cit. 20. 4. 2015.

DOLANSKÝ T., 2004: Lidary a letecké laserové skenování. *Univerzita J. E. Purkyně, Ústí nad Labem, 100 s., online:* <http://wvc.pf.jcu.cz/ki/data/files/160lidaryweb.pdf>, cit. 3. 4. 2015.

DRBAL K. et al. 2009: Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik. *Ministerstvo životního prostředí, 87 s. online:* [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/sber_sprava_vystupnich_dat/\\$FILE/OF-OF-DALSI_INFORMACE-20100609.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/sber_sprava_vystupnich_dat/$FILE/OF-OF-DALSI_INFORMACE-20100609.pdf), cit. 21. 4. 2015.

DUŠÁNEK P., 2012: GIS Ostrava 2014: Nové výškopisné mapování České republiky. *online:* http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2014/sbornik/papers/gis2014526faa8a434ef.pdf, cit. 16. 3. 2015.

FIALA R., 2011: Laserové skenování – principy. *online:* http://www.gis.zcu.cz/projekty/Geomatika_multimedialne/FGM/fgm-lls-principy.pdf, cit. 21. 4. 2015

Geoportal, 2015: Mapový podklad. *online:* <http://geoportal.gov.cz/arcgis/services>, cit. 21. 4. 2015.

GRAHAM D. N. et BUTTS M. B., 2005: Flexible Integrated Watershed Modeling with MIKE SHE. *In Singh V. P. et Frevert D. K. (eds): Watershed Models. CRC Press, Boca Raton, Florida : 245-272, online:* http://www.dhigroup.com/upload/dhissoftwarearchive/papersanddocs/waterresources/MSHE_Book_Chapter/MIKE_SHE_Ch10_in_VPSinghDKFrevert.pdf, cit. 15. 4. 2012.

HELKA D., 2006: Předpovědní systém AquaLog. *In: ČHMÚ: Meteorologické a hydrologické vyhodnocení jarní povodně 2006 na území ČR. Český*

hydrometeorologický ústav, Praha: C45-C50, online: <http://voda.chmi.cz/pov06/pdf/kap15.pdf>, cit. 20. 4. 2015.

Hydrotec, 2012: NASIM – Software für die Hydrologie. *Hydrotec Ingeniergesellschaft für Wasser und Umwelt*, online: <http://www2.hydrotec.de/vertrieb/nasim>, cit. 20. 4. 2015.

JENÍČEK M., NONDEK L., NESMĚRÁK I. et KOBLÍŽKOVÁ E., 2011: Aplikace modelů v oblasti životního prostředí. *CENIA, Česká informační agentura životního prostředí, Praha, 276 s.*

KESTŘÁNEK J., KRÍŽ H., NOVOTNÝ S. et PÍŠE J., 1984: Zeměpisný lexikon ČSR: Vodní toky a nádrže. *Academia Praha, 316 s.*

KOŠKOVÁ R. et NĚMEČKOVÁ S., 2009: Assessment of Evapotranspiration Simulations in the Malše Basin. *Soil & Water Research 4/2: 111-122*, online: <http://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/17563.pdf>, cit. 20. 4. 2015.

KOŠUT M. et LEVITUS V., 2012: Charakteristiky toků a povodí ČR. *Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha*, online: <http://www.dibavod.cz/24/charakteristiky-toku-a-povodi-cr.html>, cit. 12. 1. 2015.

KOUDELKA P., VOKURKA A., DAVID V., DOSTÁL T., UHLÍŘOVÁ K. et VRÁNA K., 2006: Studie odtokových poměrů v povodí Weisseritz část IV.: Modelování proudění vody nivou za povodňových stavů. *České vysoké učení technické v Praze, Praha, 47 s.*, online: http://storm.fsv.cvut.cz/granty/emtal/cesky/EMTAL_CVUT_Praha_cast_IV.pdf, cit. 20. 4. 2015.

MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ ČR, 2015: Centrální evidence vodních toků. online: <http://eagri.cz/public/web/mze/voda/aplikace/cevt.html>, cit. 12. 1. 2015.

NEITSCH S. L., ARNOLD J. G., KINIRY J. R. et WILLIAMS J. R., 2011: Soiland Water Assessment Tool Theoretical Documentation: Version 2009. *Texas Water Resources Institute, Texas, 618 s.*, online: <http://twri.tamu.edu/reports/2011/tr406.pdf>, cit. 20. 4. 2015.

NETOPIIL R., BRÁZDIL R., DEMEK J. et PROŠEK P., 1984: Fyzická geografie I. *SPN, Praha, 273 s.*

ORŠULÁK T. et PACINA J., 2015: 3D Modelování a virtuální realita, CEVRAMOK-Centrum pro virtuální realitu a modelování krajiny, Ústí nad Labem, 63 s., online: <http://cevramok.ujep.cz/files/opora-3.pdf>, cit. 21. 4. 2015.

PAVELKA K., 2009: Fotogrammetrie 1. Vydavatelství ČVUT, Praha, 200 s.

ŘÍMAN J. et ŠTĚPANEK M., 1986: Malá československá encyklopedie, díl 4.. Academia, Praha: 992 s.

SCHARFFENBERG W. A., 2001: Hydrologic Modeling System HEC-HMS: User's Manual. U. S. Army Corps of Engineers, Davis, California, 178 s., online: http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/CPD74A_2001Jan.pdf, cit. 15. 4. 2015.

SMITH M. B., KOREN V. I., WELLS E., WANG D. et ZHANG Z., 2000: Evaluation of the Advantages of the Continuous SAC-SMA Model over an Event API Model. National Oceanic and Atmospheric Administration's National Weather Service, Silver Spring, Maryland, 3 s., online: http://www.nws.noaa.gov/oh/hrl/papers/ams/ams_2000_1.2.pdf, cit. 15. 4. 2015.

SYNEK J. et al, 2005: Ottova obrázková encyklopedie Česká republika. Ottovo nakladatelství, s. r. o., Praha, 208 s.

ŠTĚPÁNOVÁ M., 2010: Mapy Podnebí Česka v prostředí Google Maps. Český hydrometeorologický ústav, Univerzita Palackého v Olomouci, online: <http://gislib.upol.cz/app/stepanova10/map.html>, cit. 1. 2. 2015.

ŠTRONER M., Letecké laserové skenování. Online: https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&ved=0CE0QFQFj&url=http%3A%2F%2Fk154.fsv.cvut.cz%2F~stroner%2FLSK%2F154LSK_pred_5_2008.ppt&ei=B_A1Vb-vGcn3aqu6gLA&usq=AFQjCNFj-tk1s91PbVXStJ4ZM-OC59xecg&sig2=DqUKluCbxdynN3Mv8i1k4A&bvm=bv.91071109,d.d2s&cad=rja, cit. 21. 4. 2015.

Trasovník, 2012: online: http://www.trasovnik.cz/k_ainfcr/klimapis/klimapis.asp, cit. 1. 2. 2015.

VÍUV TGM, 2012: Vodní toky: Výpis dat vybraného objektu. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Praha, online: <http://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?GEN=LSTD&MAP=vtu&MU=CZ&TM=1110>

100001000000000000000000S0SLANG%3DCS-CZ&TS_PAGE=0&LANG=CS-CZ&SORT=DLK_TOK&PAGE=1177, cit. 4. 2. 2015.

VÚV TGM, 2012a: Vodní toky, vodní plochy, hydrologická povodí. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Praha, online: <http://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=vtu&>, cit. 4. 2. 2012.

WARNER J. C., BRUNNER G. W., WOLFE B. C. et PIPER S. S., 2010: HECRAS, River Analysis System Applications Guide: Version 4.1. US Army Corps of Engineers, Davis, California, 351 s., online: http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS_4.1_Applications_Guide.pdf, cit. 20. 4. 2015.

Zeměpis, 2015: online: <http://www.zemepis.com/slmapycr.php>, cit. 3. 4. 2015.

10. Seznam obrázků a tabulek v textu

Obr. č. 1 Princip nivelace (Zdroj: Oršulák et Pacina, 2012)	18
Obr. č. 2 Fotogrammetrické snímání (Zdroj: Oršulák et Pacina, 2012)	20
Obr. č. 3 Schéma pulsního měření terénu při LLS (Zdroj: Štroner).....	22
Obr. č. 4 Schéma LLS nad krajinou (Zdroj: Fiala, 2011).....	22
Obr. č. 5 Lokalizace povodí Otavy (Zdroj: upraveno dle ZEMĚPIS, 2015; VÚV, 2014)	26
Obr. č. 6 Povodí Otavy (Zdroj: Košut et Levitus, 2012).....	27
Obr. č. 7 Zájmové území	28
Obr. č. 8 Řešený úsek řeky Otavy	28
Obr. č. 9 Geologické členění (Zdroj: ČGS, 2015)	29
Obr. č. 10 Půdní typy (Zdroj: CENIA, 2015)	29
Obr. č. 11 Vytvoření bodové vrstvy	33
Obr. č. 12 Model TIN se zájmovým územím.....	34
Obr. č. 13 3D model terénu TIN	35
Obr. č. 14 Schéma vytvořených modelů.....	36
Obr. č. 15 Schematizace říční sítě v programu MIKE 11	37
Obr. č. 16 Ukázka příčného profilu v programu MIKE 11.....	38
Obr. č. 17 Nepostačující geodeticky zaměřený profil.....	39
Obr. č. 18 Příčný profil doplněný od data z DTM	39
Obr. č. 19 Editor okrajových podmínek	40
Obr. č. 20 Nastavení simulace	40
Obr. č. 21 Podélný profil.....	41
Obr. č. 22 Profil č. 34	42
Obr. č. 23 Profil č. 16	42
Obr. č. 24 Profil č. 22	43
Obr. č. 25 Nepřesně zaměřená hladina vody	43
Obr. č. 26 Srovnání nadmořských výšek hladin.....	44
Obr. č. 27 Průměrná odchylka nadmořských výšek hladin	46
Obr. č. 28 Srovnání výšek hladin od říčního dna	46
Tab. č. 1 Nejvyšší zaznamenané vodní stavy (Zdroj: ČHMÚ, 2015).....	30
Tab. č. 2 Stupně povodňové aktivity (Zdroj: ČHMÚ, 2015).....	30
Tab. č. 3 N-leté průtoky na řece Otavě (zdroj: ČHMÚ, 2015)	32
Tab. č. 4 Přehled dosažených hodnot výšek hladiny a jejich rozdíl	45

Tab. č. 5 Porovnání výšek hladin ode dna a jejich rozdíly	47
---	----

11. Přílohy

11.1 Evidenční list hlásného profilu č. 127

Evidenční list hlásného profilu č.127									
Stanice kategorie : A									
Tok:	Otava			Stanice:	Písek				
Kraj:	Jihočeský kraj			ORP:	Písek		Obec:	Písek	
Provozovatel stanice:	ČHMÚ České Budějovice				Předpovědní profil ČHMÚ PP				
Centrum automatického sběru dat:	RPP ČHMÚ České Budějovice								
Staničení:	24.70	[km]	Číslo hydrologického pořadí:	1-08-03-101					
Plocha povodí:	2913,7	[km ²]	Zeměpisné souřadnice:	140847 v.d. 491849 s.š.					
Nula vodočtu:	353,9	[m.n.m.]	Procento plochy povodí toku:	75,9					
Stupně povodňové aktivity:		[cm]	[m ³ .s ⁻¹]	Platnost SPA pro úsek toku:					
bdělost	250	140	soutok s Blaníci - ústí do Vltavy						
pohotovost	320	219	Kritické místo:						
ohrožení	380	301	Písek						
Průměrný roční stav:	94	[cm]	N-leté průtoky:	Q ₁	Q ₅	Q ₁₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	
Průměrný roční průtok:	23,4	[m ³ s ⁻¹]	[m ³ s ⁻¹]	146	300	394	680	837	
Odesílatel zpráv:	Četnost hlášení SPA:		I.	2 x denně					
			II.	3 x denně					
			III.	3 hodinové hlášení					
Odesílatel podá zprávu:	Spojení na adresáta:			Příjemce dále vyzoomí:					
Nejvyšší zaznamenané vodní stavy:			Mapa v měřítku 1:50 000 :						
[cm]	V. - XI.	[cm]	XII. - IV.						
880	13.08.2002	508	21.12.1993						
593	09.07.1954								
428	20.07.1981								
391	18.06.1979								
356	03.08.1991								
350	23.08.1977								
338	23.07.1980								
338	11.06.1965								
Popis umístění profilu :									
cca 50 m po proudu od pěší lávky v sídlišti na Pražském předměstí, levý břeh									

127

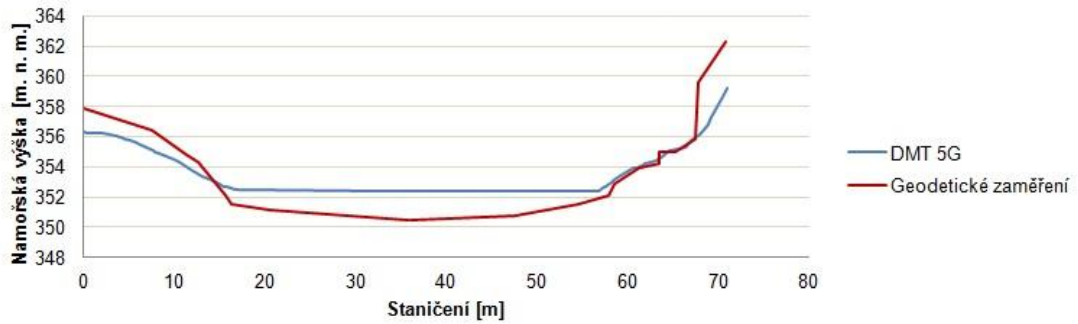
[Generováno : 16.02.2015]

Český hydrometeorologický ústav, Hlásná a předpovědní povodňová služba

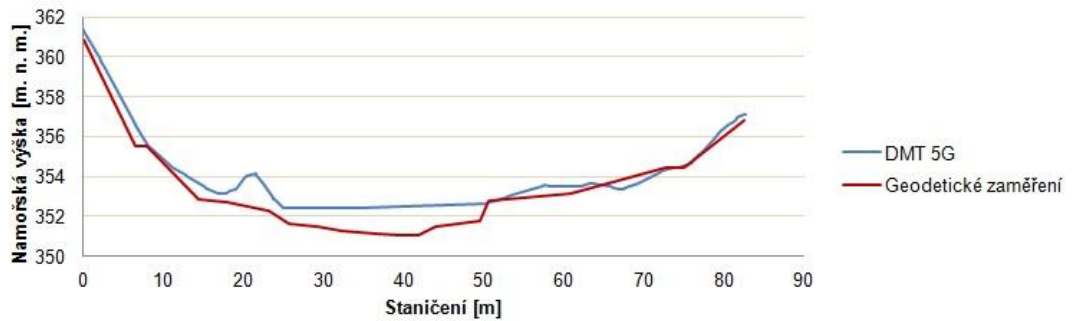
Aplikace vyrobena firmou Hydrossoft Veleslavín s.r.o.

11.2 Vykreslené příčné profily

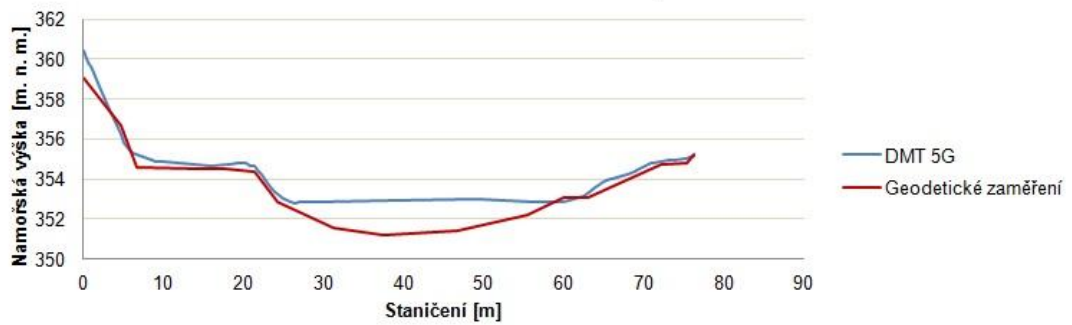
Profil č. 16 ř. km 22,571



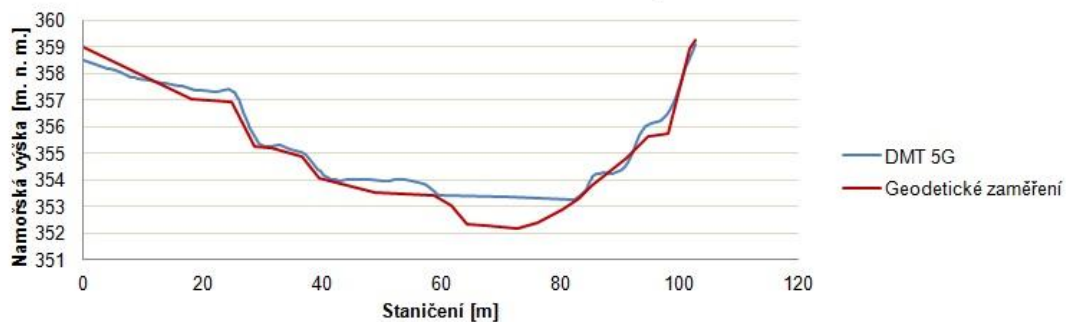
Profil č. 17 ř. km 22,752



Profil č. 18 ř. km 22,909



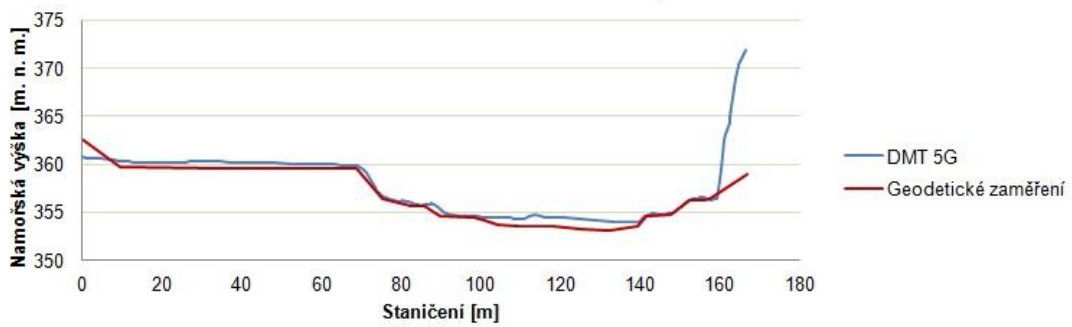
Profil č. 19 ř. km 23,134



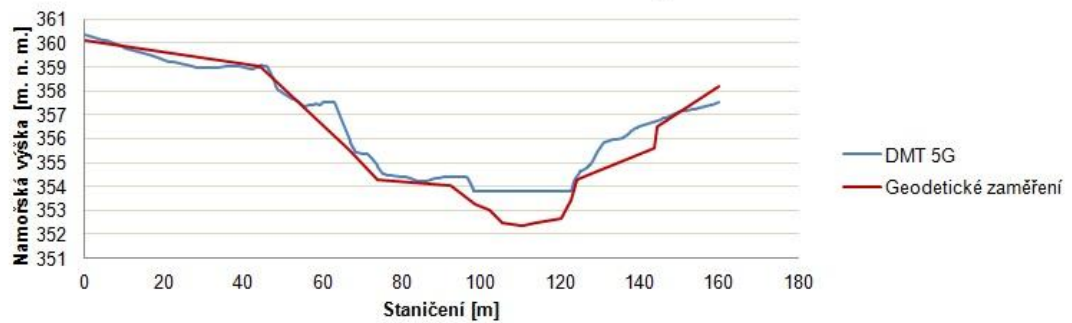
Profil č. 20 ř. km 23,298



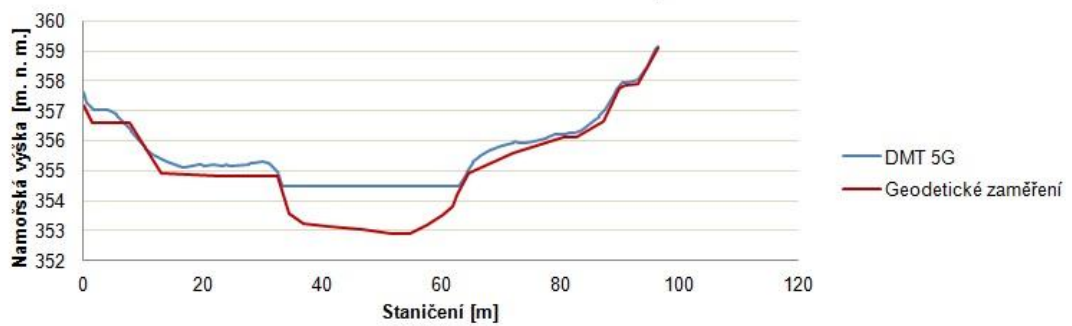
Profil č. 21 ř. km 23,487



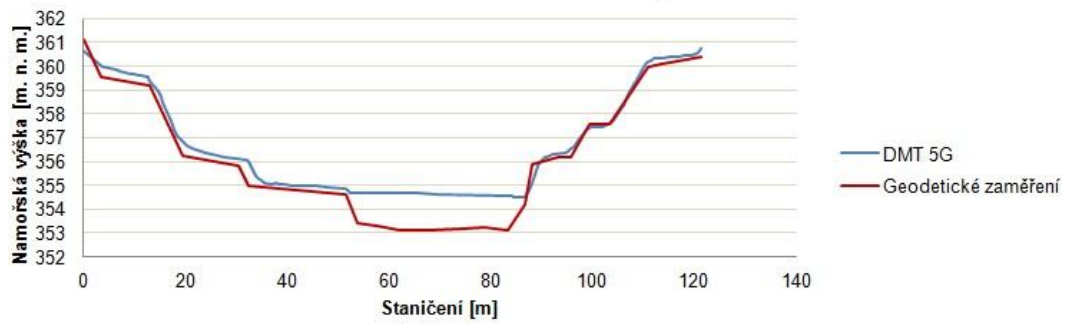
Profil č. 22 ř. km 23,700



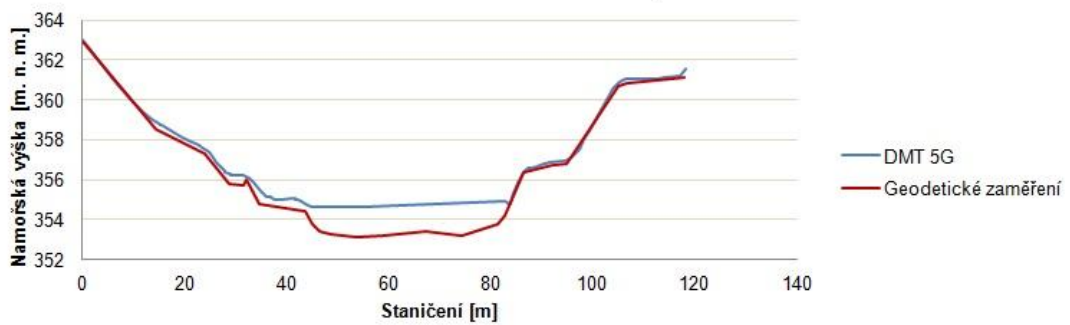
Profil č. 23 ř. km 23,485



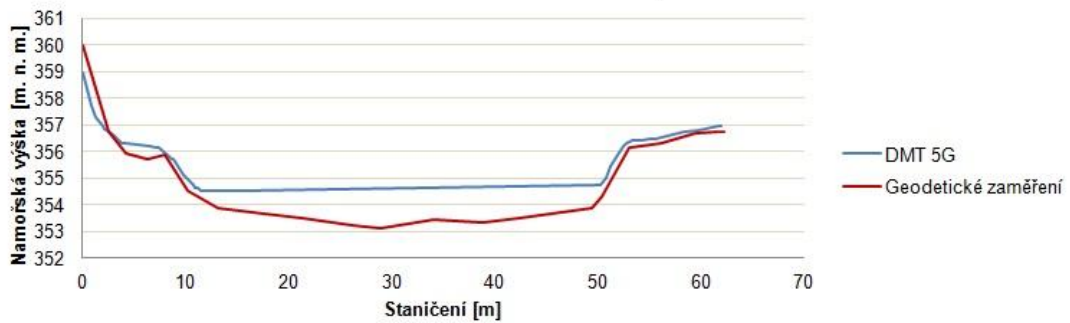
Profil č. 24 ř. km 23,954



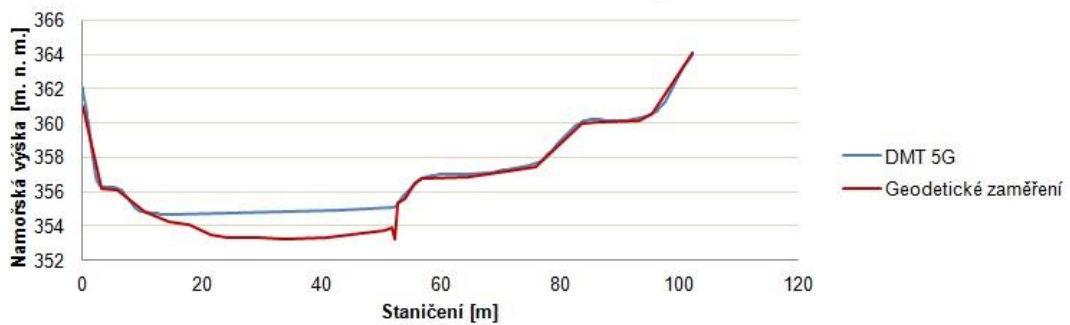
Profil č. 25 ř. km 24,085



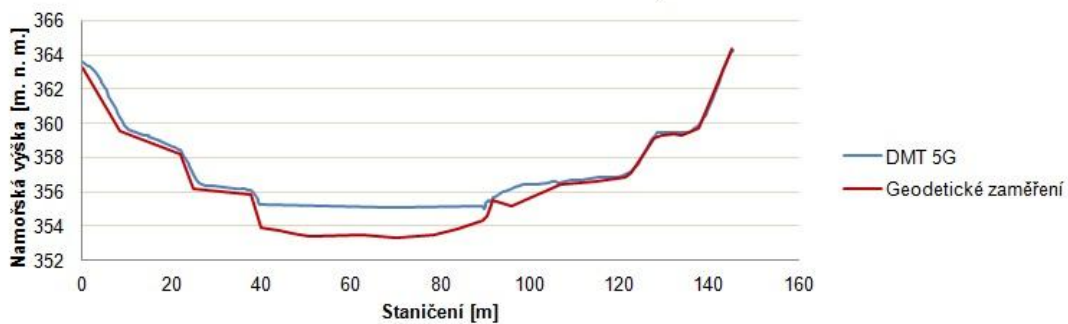
Profil č. 26 ř. km 24,177



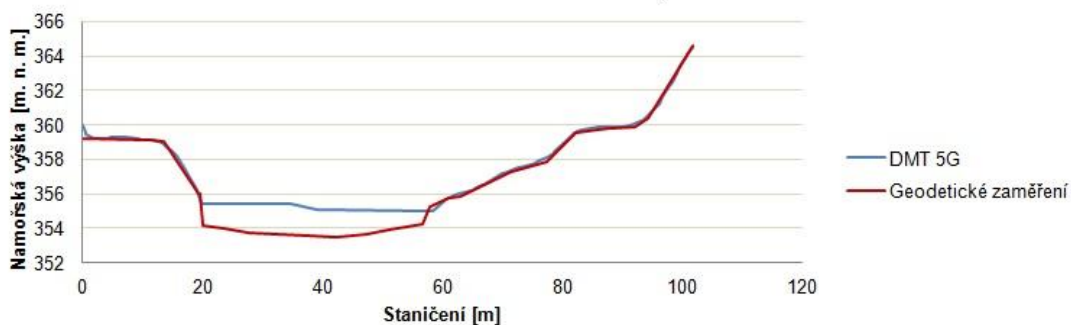
Profil č. 27 ř. km 24,332



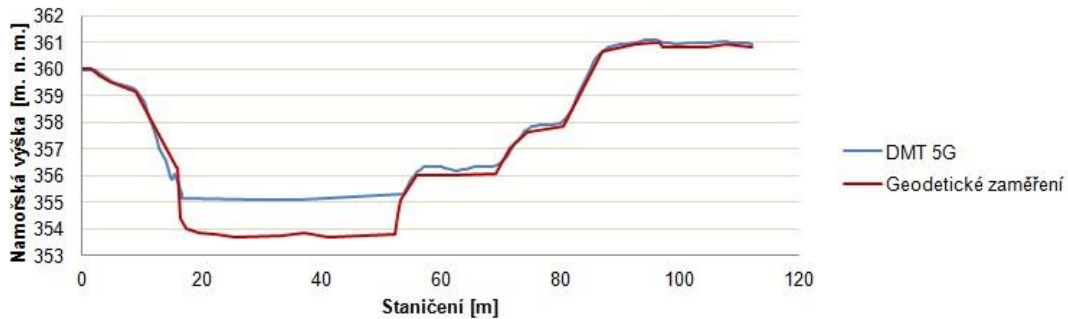
Profil č. 28 ř. km 24,426



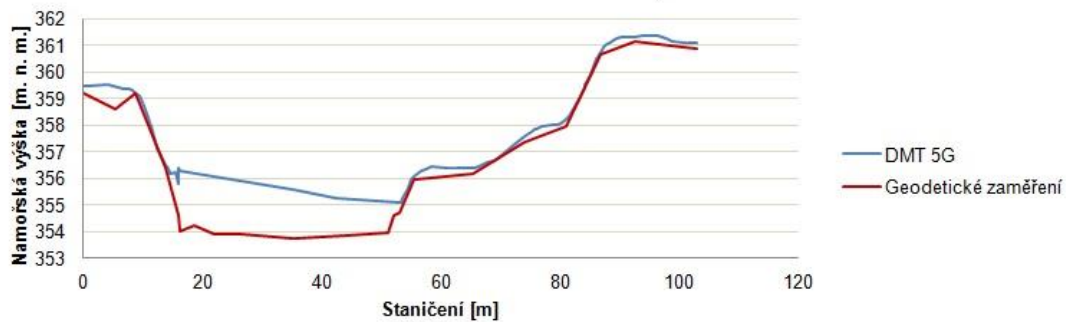
Profil č. 29 ř. km 24,531



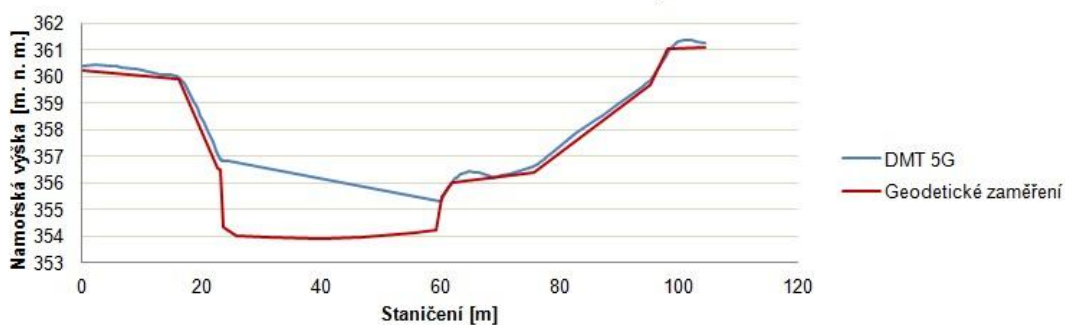
Profil č. 30 ř. km 24,642



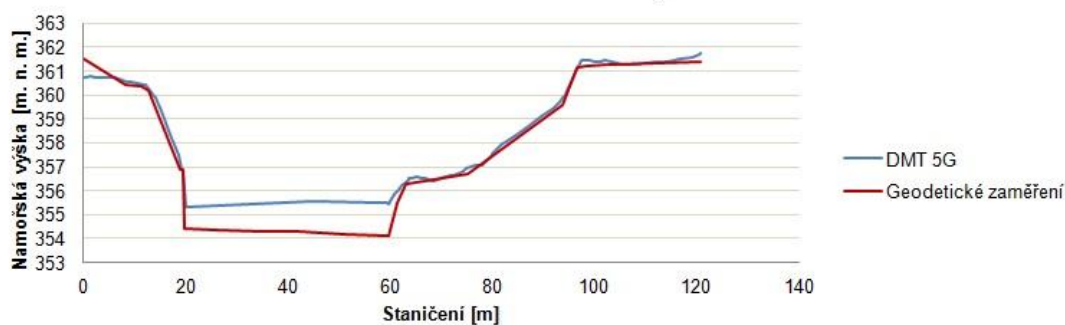
Profil č. 31 ř. km 24,731



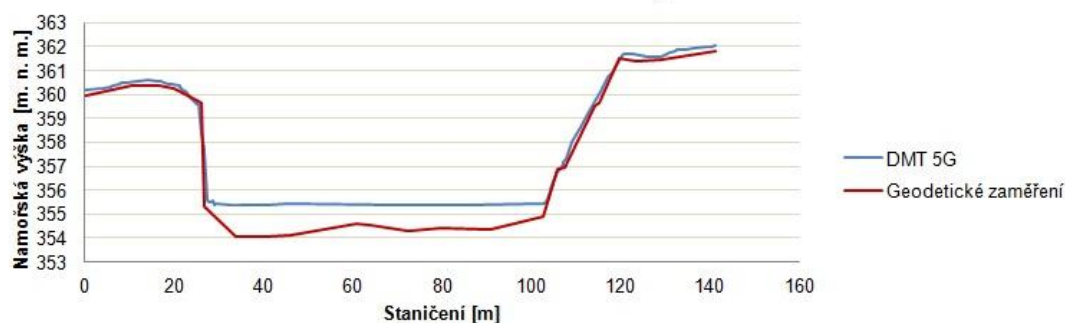
Profil č. 32 ř. km 24,819



Profil č. 33 ř. km 24,931



Profil č. 34 ř. km 25,045



11.3 Tabulka přehledu dosažených hodnot nadmořských výšek hladiny a jejich rozdíl

Profil	Staničení profilu [km]	N-letost	Q [m ³ /s]	Výška hladiny GZ [m. n. m.]	Výška hladiny DMT 5G [m. n. m.]	Rozdíl [m]	Výška hladiny DMT 5G - QLLS [m. n. m.]	Rozdíl [m]
16	22.571	Q1	146	352.01	353.08	1.07	353.03	1.02
		Q5	300	352.68	353.59	0.91	353.54	0.86
		Q10	394	353.04	353.91	0.87	353.86	0.82
		Q50	680	353.99	354.89	0.9	354.84	0.85
		Q100	837	354.44	355.45	1.01	355.39	0.95

Profil	Staničení profilu [km]	N- letost	Q [m ³ /s]	Výška hladiny GZ [m. n. m.]	Výška hladiny DMT 5G [m. n. m.]	Rozdíl [m]	Výška hladiny DMT 5G - QLLS [m. n. m.]	Rozdíl [m]
17	22.752	Q1	146	353.05	354.03	0.98	353.96	0.91
		Q5	300	353.75	354.61	0.86	354.56	0.81
		Q10	394	354.09	354.89	0.8	354.84	0.75
		Q50	680	354.95	355.72	0.77	355.67	0.72
		Q100	837	355.36	356.18	0.82	356.14	0.78
18	22.909	Q1	146	353.57	354.55	0.98	354.47	0.9
		Q5	300	354.33	355.2	0.87	355.15	0.82
		Q10	394	354.7	355.5	0.8	355.45	0.75
		Q50	680	355.58	356.32	0.74	356.27	0.69
		Q100	837	355.98	356.75	0.77	356.71	0.73
19	23.134	Q1	146	354.3	355.11	0.81	355.01	0.71
		Q5	300	355.08	355.82	0.74	355.76	0.68
		Q10	394	355.45	356.13	0.68	356.08	0.63
		Q50	680	356.32	356.96	0.64	356.92	0.6
		Q100	837	356.71	357.39	0.68	357.35	0.64
20	23.298	Q1	146	354.78	355.5	0.72	355.41	0.63
		Q5	300	355.58	356.22	0.64	356.16	0.58
		Q10	394	355.95	356.56	0.61	356.5	0.55
		Q50	680	356.84	357.43	0.59	357.39	0.55
		Q100	837	357.24	357.87	0.63	357.83	0.59
21	23.487	Q1	146	355.18	355.9	0.72	355.81	0.63
		Q5	300	355.96	356.63	0.67	356.57	0.61
		Q10	394	356.33	356.97	0.64	356.92	0.59
		Q50	680	357.21	357.86	0.65	357.82	0.61
		Q100	837	357.62	358.26	0.64	358.22	0.6
22	23.7	Q1	146	355.52	356.24	0.72	356.15	0.63
		Q5	300	356.34	356.98	0.64	356.93	0.59
		Q10	394	356.72	357.33	0.61	357.28	0.56
		Q50	680	357.62	358.23	0.61	358.19	0.57
		Q100	837	358.03	358.65	0.62	358.61	0.58
23	23.845	Q1	146	355.7	356.43	0.73	356.34	0.64
		Q5	300	356.54	357.17	0.63	357.11	0.57
		Q10	394	356.93	357.52	0.59	357.47	0.54
		Q50	680	357.86	358.44	0.58	358.39	0.53
		Q100	837	358.29	358.87	0.58	358.83	0.54

Profil	Staničení profilu [km]	N- letost	Q [m ³ /s]	Výška hladiny GZ [m. n. m.]	Výška hladiny DMT 5G [m. n. m.]	Rozdíl [m]	Výška hladiny DMT 5G - QLLS [m. n. m.]	Rozdíl [m]
24	23.954	Q1	146	355.8	356.55	0.75	356.46	0.66
		Q5	300	356.66	357.3	0.64	357.24	0.58
		Q10	394	357.05	357.65	0.6	357.6	0.55
		Q50	680	357.99	358.58	0.59	358.54	0.55
		Q100	837	358.41	359.01	0.6	358.98	0.57
25	24.085	Q1	146	355.88	356.66	0.78	356.57	0.69
		Q5	300	356.77	357.43	0.66	357.37	0.6
		Q10	394	357.17	357.8	0.63	357.74	0.57
		Q50	680	358.13	358.72	0.59	358.68	0.55
		Q100	837	358.56	359.15	0.59	359.11	0.55
26	24.177	Q1	146	355.92	356.77	0.85	356.67	0.75
		Q5	300	356.81	357.55	0.74	357.48	0.67
		Q10	394	357.21	357.91	0.7	357.85	0.64
		Q50	680	358.16	358.79	0.63	358.75	0.59
		Q100	837	358.57	359.2	0.63	359.16	0.59
27	24.332	Q1	146	356.04	356.86	0.82	356.75	0.71
		Q5	300	356.98	357.68	0.7	357.62	0.64
		Q10	394	357.41	358.08	0.67	358.02	0.61
		Q50	680	358.44	359.06	0.62	359.02	0.58
		Q100	837	358.97	359.52	0.55	359.48	0.51
28	24.426	Q1	146	356.12	356.97	0.85	356.86	0.74
		Q5	300	357.12	357.82	0.7	357.75	0.63
		Q10	394	357.57	358.23	0.66	358.17	0.6
		Q50	680	358.65	359.27	0.62	359.22	0.57
		Q100	837	359.3	359.76	0.46	359.71	0.41
29	24.531	Q1	146	356.11	357.03	0.92	356.94	0.83
		Q5	300	357.09	357.83	0.74	357.76	0.67
		Q10	394	357.54	358.22	0.68	358.16	0.62
		Q50	680	358.58	359.21	0.63	359.17	0.59
		Q100	837	359.48	359.67	0.19	359.63	0.15
30	24.642	Q1	146	356.22	357.16	0.94	357.05	0.83
		Q5	300	357.24	357.99	0.75	357.92	0.68
		Q10	394	357.71	358.41	0.7	358.35	0.64
		Q50	680	358.81	359.49	0.68	359.44	0.63
		Q100	837	359.66	359.96	0.3	359.92	0.26

Profil	Staničení profilu [km]	N-letost	Q [m ³ /s]	Výška hladiny GZ [m. n. m.]	Výška hladiny DMT 5G [m. n. m.]	Rozdíl [m]	Výška hladiny DMT 5G - QLLS [m. n. m.]	Rozdíl [m]
31	24.731	Q1	146	356.29	357.26	0.97	357.15	0.86
		Q5	300	357.34	358.12	0.78	358.05	0.71
		Q10	394	357.82	358.53	0.71	358.47	0.65
		Q50	680	358.92	359.63	0.71	359.57	0.65
		Q100	837	359.69	360.18	0.49	360.13	0.44
32	24.819	Q1	146	356.36	357.35	0.99	357.24	0.88
		Q5	300	357.39	358.21	0.82	358.14	0.75
		Q10	394	357.86	358.62	0.76	358.56	0.7
		Q50	680	358.98	359.65	0.67	359.61	0.63
		Q100	837	359.62	360.17	0.55	360.12	0.5
33	24.931	Q1	146	356.48	357.46	0.98	357.35	0.87
		Q5	300	357.52	358.37	0.85	358.3	0.78
		Q10	394	358	358.82	0.82	358.75	0.75
		Q50	680	359.13	359.92	0.79	359.87	0.74
		Q100	837	359.64	360.46	0.82	360.42	0.78
34	25.045	Q1	146	356.6	357.53	0.93	357.41	0.81
		Q5	300	357.67	358.48	0.81	358.4	0.73
		Q10	394	358.17	358.95	0.78	358.88	0.71
		Q50	680	359.34	360.11	0.77	360.06	0.72
		Q100	837	359.87	360.64	0.77	360.6	0.73

11.4 Tabulka přehledu dosažených hodnot výšek hladiny ode dna koryta a jejich rozdíl

Profil	Staničení profilu [km]	N-letost	Q [m ³ /s]	Výška hladiny GZ [m]	Výška hladiny DMT 5G [m]	Rozdíl [m]	Výška hladiny DMT 5G- QLLS [m]	Rozdíl [m]
16	22.571	Q1	146	1.51	0.72	0.79	0.67	0.84
		Q5	300	2.18	1.23	0.95	1.18	1
		Q10	394	2.54	1.55	0.99	1.5	1.04
		Q50	680	3.49	2.53	0.96	2.48	1.01
		Q100	837	3.94	3.09	0.85	3.03	0.91
17	22.752	Q1	146	2.01	1.62	0.39	1.55	0.46
		Q5	300	2.71	2.2	0.51	2.15	0.56

Profil	Staničení profilu [km]	N- letost	Q [m ³ /s]	Výška hladiny GZ [m]	Výška hladiny DMT 5G [m]	Rozdíl [m]	Výška hladiny DMT 5G- QLLS [m]	Rozdíl [m]
18	22.909	Q10	394	3.05	2.48	0.57	2.44	0.61
		Q50	680	3.91	3.31	0.6	3.27	0.64
		Q100	837	4.32	3.78	0.54	3.73	0.59
		Q1	146	2.35	1.73	0.62	1.65	0.7
		Q5	300	3.11	2.38	0.73	2.33	0.78
		Q10	394	3.48	2.68	0.8	2.63	0.85
19	23.134	Q50	680	4.36	3.49	0.87	3.45	0.91
		Q100	837	4.76	3.93	0.83	3.89	0.87
		Q1	146	2.12	1.84	0.28	1.74	0.38
		Q5	300	2.9	2.55	0.35	2.5	0.4
		Q10	394	3.27	2.87	0.4	2.82	0.45
		Q50	680	4.14	3.7	0.44	3.66	0.48
20	23.298	Q100	837	4.53	4.12	0.41	4.08	0.45
		Q1	146	2.4	1.71	0.69	1.61	0.79
		Q5	300	3.2	2.42	0.78	2.37	0.83
		Q10	394	3.57	2.76	0.81	2.71	0.86
		Q50	680	4.46	3.64	0.82	3.6	0.86
		Q100	837	4.86	4.08	0.78	4.04	0.82
21	23.487	Q1	146	2.02	1.86	0.16	1.76	0.26
		Q5	300	2.8	2.59	0.21	2.53	0.27
		Q10	394	3.17	2.93	0.24	2.88	0.29
		Q50	680	4.05	3.81	0.24	3.77	0.28
		Q100	837	4.46	4.21	0.25	4.18	0.28
		Q1	146	2.79	2.13	0.66	2.04	0.75
22	23.7	Q5	300	3.61	2.87	0.74	2.81	0.8
		Q10	394	3.99	3.22	0.77	3.16	0.83
		Q50	680	4.89	4.12	0.77	4.08	0.81
		Q100	837	5.3	4.54	0.76	4.5	0.8
		Q1	146	2.81	1.97	0.84	1.88	0.93
		Q5	300	3.65	2.7	0.95	2.64	1.01
23	23.845	Q10	394	4.04	3.06	0.98	3.01	1.03
		Q50	680	4.97	3.98	0.99	3.93	1.04
		Q100	837	5.4	4.41	0.99	4.37	1.03
		Q1	146	2.71	2.07	0.64	1.98	0.73
		Q5	300	3.57	2.83	0.74	2.77	0.8
		Q1	146	2.71	2.07	0.64	1.98	0.73

Profil	Staničení profilu [km]	N- letost	Q [m ³ /s]	Výška hladiny GZ [m]	Výška hladiny DMT 5G [m]	Rozdíl [m]	Výška hladiny DMT 5G- QLLS [m]	Rozdíl [m]
25	24.085	Q10	394	3.96	3.18	0.78	3.13	0.83
		Q50	680	4.9	4.11	0.79	4.06	0.84
		Q100	837	5.32	4.54	0.78	4.5	0.82
		Q1	146	2.73	2.04	0.69	1.95	0.78
		Q5	300	3.62	2.81	0.81	2.75	0.87
		Q10	394	4.02	3.18	0.84	3.12	0.9
26	24.177	Q50	680	4.98	4.1	0.88	4.06	0.92
		Q100	837	5.41	4.53	0.88	4.49	0.92
		Q1	146	2.78	2.25	0.53	2.15	0.63
		Q5	300	3.67	3.02	0.65	2.96	0.71
		Q10	394	4.07	3.38	0.69	3.33	0.74
		Q50	680	5.02	4.27	0.75	4.22	0.8
27	24.332	Q100	837	5.43	4.67	0.76	4.64	0.79
		Q1	146	2.84	2.21	0.63	2.11	0.73
		Q5	300	3.78	3.03	0.75	2.97	0.81
		Q10	394	4.21	3.43	0.78	3.37	0.84
		Q50	680	5.24	4.42	0.82	4.37	0.87
		Q100	837	5.77	4.87	0.9	4.83	0.94
28	24.426	Q1	146	2.78	1.96	0.82	1.85	0.93
		Q5	300	3.78	2.81	0.97	2.74	1.04
		Q10	394	4.23	3.22	1.01	3.16	1.07
		Q50	680	5.31	4.26	1.05	4.21	1.1
		Q100	837	5.96	4.75	1.21	4.7	1.26
		Q1	146	2.62	2.04	0.58	1.94	0.68
29	24.531	Q5	300	3.6	2.84	0.76	2.77	0.83
		Q10	394	4.05	3.23	0.82	3.17	0.88
		Q50	680	5.09	4.22	0.87	4.18	0.91
		Q100	837	5.99	4.68	1.31	4.64	1.35
		Q1	146	2.53	2.08	0.45	1.97	0.56
		Q5	300	3.55	2.91	0.64	2.84	0.71
30	24.642	Q10	394	4.02	3.34	0.68	3.27	0.75
		Q50	680	5.12	4.41	0.71	4.36	0.76
		Q100	837	5.97	4.88	1.09	4.84	1.13
		Q1	146	2.53	2.16	0.37	2.06	0.47
		Q5	300	3.58	3.02	0.56	2.95	0.63
		Q1	146	2.53	2.16	0.37	2.06	0.47

Profil	Staničení profilu [km]	N- letost	Q [m ³ /s]	Výška hladiny GZ [m]	Výška hladiny DMT 5G [m]	Rozdíl [m]	Výška hladiny DMT 5G- QLLS [m]	Rozdíl [m]
32	24.819	Q10	394	4.06	3.44	0.62	3.38	0.68
		Q50	680	5.16	4.53	0.63	4.48	0.68
		Q100	837	5.93	5.09	0.84	5.04	0.89
		Q1	146	2.46	2.01	0.45	1.9	0.56
		Q5	300	3.49	2.87	0.62	2.8	0.69
		Q10	394	3.96	3.28	0.68	3.22	0.74
		Q50	680	5.08	4.31	0.77	4.26	0.82
		Q100	837	5.72	4.83	0.89	4.78	0.94
33	24.931	Q1	146	2.36	2.17	0.19	2.06	0.3
		Q5	300	3.4	3.09	0.31	3.01	0.39
		Q10	394	3.88	3.53	0.35	3.46	0.42
		Q50	680	5.01	4.63	0.38	4.58	0.43
		Q100	837	5.52	5.18	0.34	5.13	0.39
34	25.045	Q1	146	2.48	2.24	0.24	2.12	0.36
		Q5	300	3.55	3.19	0.36	3.12	0.43
		Q10	394	4.05	3.66	0.39	3.59	0.46
		Q50	680	5.22	4.83	0.39	4.77	0.45
		Q100	837	5.75	5.36	0.39	5.31	0.44