

**Adonix, spol s r.o.**  
**Bratřanců Veverkových 645**  
**530 02 Pardubice**



**Akce: Labe, Opatovice nad Labem, posouzení  
dopravních staveb**

**Investor: Povodí Labe, státní podnik Hradec Králové**

**červen 2015**

**výškový systém Bpv**

# OBSAH

1. Úvod.....	3
2. Podklady.....	3
2.1. Geodetické podklady .....	3
2.2. Hydrologické podklady .....	4
3. Popis zájmového úseku .....	4
4. Matematický model proudění.....	4
4.1. Říční rovnice 2D proudění .....	4
4.2. HEC-RAS 5.0.....	5
4.2.1. Saint-Venantovy rovnice, rovnice Difusní vlny.....	5
4.2.2. Metoda konečných objemů .....	5
4.2.3. Buňky výpočetní sítě .....	6
4.3. Stanovení okrajových, počátečních podmínek .....	6
4.3.1. Dolní okrajové podmínky.....	6
4.3.2. Horní okrajové podmínky .....	6
4.3.3. Počáteční podmínky .....	7
4.4. Stanovení drsnosti.....	7
4.5. Kalibrace .....	7
5. Psaný podélný profil N-letých průtoků Labe .....	8
6. Závěr.....	10

# 1. Úvod

Hydrotechnické posouzení toku Labe v úseku lokalitě Opatovice nad Labem (ř.km 982,3 – 988,5) bylo zpracováno z důvodu změny odtokových poměrů v rámci výstavby tělesa komunikace obchvatu Opatovic (silnice I/37) a připravovaného křížení záplavového území Labe silnicí R35.

## 2. Podklady

- geodetické zaměření, digitální model reliéfu DMR 5G (Mapy rizik)
- hydrologické údaje (ČHMÚ)
- letecké snímky
- zaměření tělesa komunikace I/37
- projekt křížení ZÚ Labe silnicí R35
- funkční model proudění z projektu „map rizik“ (MIKE 21C)
- výsledky projektu „map rizik“

### 2.1. **Geodetické podklady**

#### Digitální model reliéfu DMR 5G

Pro popis inundačního území byl poskytnut digitální model reliéfu 5. generace (DMR 5G) zpracovaný ČÚZK v roce 2012. Digitální model reliéfu České republiky 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, Z, kde Z reprezentuje nadmořskou výšku ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání (Bpv) s úplnou střední chybou výšky 0,18 m v odkrytém terénu a 0,3 m v zalesněném terénu.

#### Tvorba DMT

Digitální model terénu pro hydrodynamický model byl vytvořen na základě poskytnutých geodetických podkladů – digitálního modelu reliéfu 5. generace popisujícího tvar inundačního území a geodetického zaměření. Data byla poskytnuta v textovém formátu.

Pro popis tvaru koryta toku bylo poskytnuto stávající zaměření (korytové a objektové). Podklady byly k dispozici ve formátech textových souborů, souborů dwg, dxf. Data byla poskytnuta v souřadném systému S-JTSK a výškovém systému Bpv. Součástí zaměření je také fotodokumentace (formát jpg).

Výsledný model terénu pro hydrodynamický model zahrnuje mračno 3D bodů dodaného DMR 5G (očištěné o body nacházející se uvnitř koryta) a 3D linie definující tvar koryta, terén v blízkosti objektů a protipovodňová opatření.

Tento DMT charakterizuje řešené území pomocí trojúhelníkové nepravidelné sítě (tin) a byl převeden do rastrového formátu s velikostí mřížky 2 x 2 metry.

## 2.2. Hydrologické podklady

Hydrologická data byla objednána od ČHMÚ ve vybraných profilech.

Tabulka - N-leté průtoky ( $Q_N$ ) v  $m^3 \cdot s^{-1}$

Hydrologický profil	Datum pořízení	Říční kilometr	$Q_5$	$Q_{20}$	$Q_{100}$	Třída přesnosti
Nad ústím Loučné	13.4.2012	971,635	420	603	834	II.

## 3. Popis zájmového úseku

Úsek od pardubického jezu až nad Opatovice nad Labem je téměř celý regulovaný s jediným vysokým pevným jezem v Opatovicích, z jehož zdrže je odebírána voda pro tepelnou elektrárnu. Široké inundace jsou převážně rovinnaté, zatravněné, zřídka zalesněné.

## 4. Matematický model proudění

Pro výpočet byl použit programový prostředek HEC-RAS River Analysis System Version 5.0 vytvořený US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.

### 4.1. Řídící rovnice 2D proudění

Prostorové neustálené proudění s volnou hladinou obecně popisuje soustava diferenciálních pohybových rovnic Navier-Stokesových vyjadřujících zákon zachování hybnosti a rovnice spojitosti popisující vliv zákona zachování hmoty.

V případě modelování 2D proudění s volnou hladinou se rovnice zjednodušují. Za předpokladu zanedbatelných svislicových rychlostí se za podélné a příčné složky rychlostí uvažují po výšce zprůměrované hodnoty. Po řadě dalších úprav se jako tak zvané řídicí rovnice používají vztahy (4.1a), (4.1b) přičemž uvedené rovnice jsou rovnicemi pohybovými po zanedbání vlivu Coriolisovy síly

$$\frac{\partial u_x}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + g \frac{\partial Z}{\partial x} + g u_x \left( \frac{n^2}{H^{4/3}} + \frac{f_1}{2g\partial x} \right) \sqrt{u_x^2 + u_y^2} - \mu \left( \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = F_x \quad (4.1a)$$

$$\frac{\partial u_y}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} + g \frac{\partial Z}{\partial y} + g u_y \left( \frac{n^2}{H^{4/3}} + \frac{f_1}{2g\partial y} \right) \sqrt{u_x^2 + u_y^2} - \mu \left( \frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = F_y \quad (4.1b)$$

Navier-Stokesovy rovnice jsou používány pro modelování proudění vazkých stlačitelných i nestlačitelných tekutin. Pro modelování říčního proudění obecným korytem není nutné používat takto složitý model, proto se zavádějí následující zjednodušující

předpoklady: uvažuje se nestlačitelné nevazké proudění a pouze horizontální rychlosti proudění, vertikální složku zrychlení proudění zanedbáme. Tento stav popisují Saint Venantovi rovnice (4.2).

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial(Hu_x)}{\partial x} + \frac{\partial(Hu_y)}{\partial y} = 0 \quad (4.2)$$

kde  $u_x, u_y$  – po svislici zprůměrované rychlosti proudění ve směru os  $x$  a  $y$  [ $m \cdot s^{-1}$ ]  
 $Z$  – úroveň hladiny [m]  
 $H$  – hloubka vody [m]  
 $n$  – Manningův součinitel drsnosti [ $m^{0.5} \cdot s^{-1}$ ]  
 $f_i$  – ztrátový koeficient změny formy energie [-]  
 $\mu$  – dynamická viskozita [Pa.s]  
 $\rho$  – měrná hmotnost vody [ $kg \cdot m^{-3}$ ]  
 $p$  – tlak působící na hladinu [Pa]  
 $F_x, F_y$  – složky působících vnějších sil ve směru  $x$  a  $y$  [ $kg \cdot m \cdot s^{-2}$ ]

Exaktní řešení uvedené soustavy diferenciálních rovnic není k dispozici, a tak jsou řešitelé odkázáni na různé numerické přístupy. Obecně jsou k dispozici metody založené na konečných diferencích, konečných objemech a konečných prvcích.

## 4.2. HECRAS 5.0

### 4.2.1. 2D Saint-Venantovy rovnice, rovnice Difusní vlny

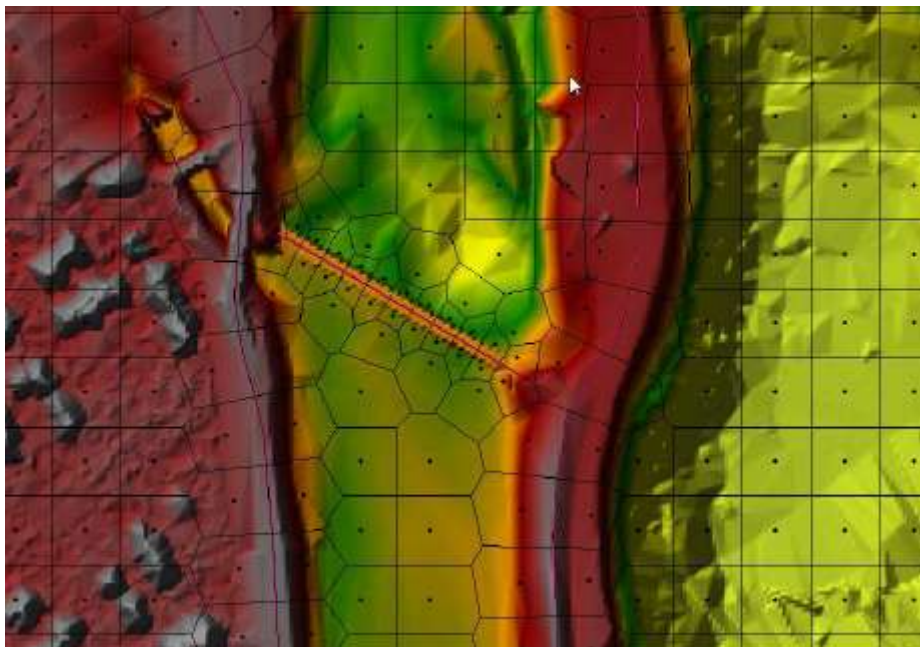
Program pracuje buď se 2D Saint-Venantovými rovnicemi v plném tvaru (s hybnostními charakteristikami pro turbulentní a Coriolisovy efekty) nebo s rovnicemi 2D Difusní vlny (zjednodušený tvar). Toto je volitelné, což je pro uživatele více flexibilní. Obecně platí, že 2D rovnice Difusní vlny umožní softwaru počítat rychleji a výpočet má zároveň vyšší stabilitu. 2D Saint-Venantovy rovnice jsou naopak použitelné pro širší škálu problémů. Nicméně, mnoho modelových situací lze přesně modelovat i s rovnicí 2D Difusní vlny. Vzhledem k tomu si mohou uživatelé vybrat mezi sadami rovnic, z nichž každá může být použita pro daný problém, aby zjistili, zda používání 2D Saint-Venantových rovnic je možné počítat zjednodušenými rovnicemi 2D Difusní vlny.

### 4.2.2. Metoda konečných objemů

Rovnice 2D proudění využívá program k výpočtu metodou konečných objemů. Algoritmus řešení umožňuje použít delší výpočetní časové kroky. Metoda konečných objemů poskytuje větší stabilitu, než tradiční metody konečných diferencí a konečných prvků. Smáčení a sušení 2D buněk je velmi variabilní. Oblasti 2D proudění mohou být při počátku výpočtu zcela suché a zvládnout náhlé zatopení. Navíc může být výpočet zpracován v režimu podkritického, kritického a smíšeného proudění.

### 4.2.3. Buňky výpočetní sítě

Tento software byl navržen tak, aby umožnil použití nepravidelných buněk výpočetní sítě, ale zároveň mohl pracovat i s ortogonální strukturou výpočetní sítě. Výpočetní buňky mohou být trojúhelníky, čtverce, obdélníky, nebo dokonce pěti a šestistranné prvky (model je omezen na prvky až s osmi stranami). Výpočetní síť může být směs různých tvarů a velikostí buněk (viz obr.) ideálně dle terénních zlomů.



Vnější hranice výpočetové sítě je definována polygonem. Výpočetní buňky, které tvoří vnější okraj sítě, mohou mít velmi detailní vícebodové hrany. Velikost buňky výpočetní sítě může být značně odlišná od velikosti buňky modelu terénu (tzv. subgrid). Ten může být mnohem podrobnější, na stabilitu výpočtu to nemá vliv.

## 4.3. Stanovení okrajových, počátečních podmínek

### 4.3.1. Dolní okrajové podmínky

Jako dolní okrajová podmínka byly pro jednotlivé N-leté průtoky převzaty úrovně hladin ze studie Středního Labe (projekt Mapy rizik) v ř.km 982,031 (nad mostem Hrobice).

Q <sub>5</sub> .....	223,00 m n.m.
Q <sub>20</sub> .....	223,60 m n.m.
Q <sub>100</sub> .....	224,00 m n.m.

### 4.3.2. Horní okrajové podmínky

Jako horní okrajová podmínka byla zadána škála průtoků toku Labe zpracovaná Českým hydrometeorologickým ústavem v profilu „nad Loučnou“.

### 4.3.3. Počáteční podmínky

Do počátečních podmínek byly zadány kóty hladiny ve všech bodech výpočetní sítě – určené v závislosti na výškách hladin dolních okrajových podmínek.

## 4.4. Stanovení drsnosti

Hydraulická drsnost a místní zvýšené odpory proudění jsou pro model HECRAS zadávány pro každý bod výpočetní sítě. Základní „mapa drsností“ byla vytvořena zpracováním polygonů s různými hodnotami součinitele drsnosti nad vrstvou podrobných ortofotomap.

*Hodnoty Manningova součinitele drsnosti „n“*

<b>popis povrchu</b>	<b>n</b>
říční koryto, plavební dráha	0,024 ÷ 0,04
hladké plochy, ulice, volná prostranství	0,030
nížká, sekaná tráva	0,035 ÷ 0,040
vyšší, nesekaná tráva, pole	0,040
řídý lesní porost	0,052
hustý lesní porost	0,087
keře	0,095
technické stavby	0,070 ÷ 0,100
ploty	0,090 ÷ 0,200

## 4.5. Kalibrace

Model byl kalibrován na výšky hladin převzaté z hydraulického modelu toku Labe z projektu Mapy rizik.

## 5. Psaný podélný profil N-letých průtoků Labe

Staničení	Úroveň dna	Q <sub>5</sub>	H <sub>5</sub>	Q <sub>20</sub>	H <sub>20</sub>	Q <sub>100</sub>	H <sub>100</sub>	Poznámka
[ř. km]	[m n.m.]	[m <sup>3</sup> /s]	[m n.m.]	[m <sup>3</sup> /s]	[m n.m.]	[m <sup>3</sup> /s]	[m n.m.]	
982,100	216,85	420,00	223,00	603,00	223,57	834,00	224,06	
982,200	217,41	420,00	223,06	603,00	223,59	834,00	224,06	
982,300	219,19	420,00	223,06	603,00	223,63	834,00	224,06	
982,400	218,34	420,00	223,13	603,00	223,63	834,00	224,06	
982,500	218,07	420,00	223,13	603,00	223,63	834,00	224,06	
982,600	218,31	420,00	223,19	603,00	223,63	834,00	224,06	
982,700	218,35	420,00	223,20	603,00	223,63	834,00	224,08	
982,800	218,12	420,00	223,25	603,00	223,69	834,00	224,13	
982,900	217,87	420,00	223,31	603,00	223,69	834,00	224,13	
983,000	218,20	420,00	223,38	603,00	223,75	834,00	224,13	
983,100	218,44	420,00	223,44	603,00	223,75	834,00	224,19	
983,200	218,81	420,00	223,44	603,00	223,81	834,00	224,19	
983,300	218,44	420,00	223,50	603,00	223,81	834,00	224,25	
983,400	218,47	420,00	223,56	603,00	223,88	834,00	224,25	
983,500	218,47	420,00	223,63	603,00	223,88	834,00	224,25	
983,600	218,45	420,00	223,63	603,00	223,94	834,00	224,31	
983,700	219,19	420,00	223,69	603,00	223,94	834,00	224,31	
983,800	218,48	420,00	223,75	603,00	224,00	834,00	224,31	
983,900	218,61	420,00	223,81	603,00	224,06	834,00	224,38	
984,000	218,36	420,00	223,88	603,00	224,06	834,00	224,38	
984,100	219,27	420,00	223,88	603,00	224,13	834,00	224,44	
984,200	218,77	420,00	223,94	603,00	224,19	834,00	224,50	
984,300	218,67	420,00	224,00	603,00	224,19	834,00	224,50	
984,400	218,67	420,00	224,06	603,00	224,25	834,00	224,56	
984,500	218,46	420,00	224,06	603,00	224,25	834,00	224,56	
984,600	218,29	420,00	224,13	603,00	224,31	834,00	224,56	
984,700	218,24	420,00	224,13	603,00	224,31	834,00	224,63	
984,800	217,99	420,00	224,13	603,00	224,38	834,00	224,63	
984,900	218,31	420,00	224,19	603,00	224,38	834,00	224,69	
985,000	218,73	420,00	224,19	603,00	224,44	834,00	224,69	
985,100	218,70	420,00	224,25	603,00	224,44	834,00	224,69	
985,200	218,30	420,00	224,25	603,00	224,44	834,00	224,75	
985,300	219,69	420,00	224,31	603,00	224,50	834,00	224,75	
985,400	218,21	420,00	224,31	603,00	224,50	834,00	224,75	
985,500	218,04	420,00	224,38	603,00	224,56	834,00	224,81	
985,600	217,68	420,00	224,38	603,00	224,56	834,00	224,81	
985,700	217,05	420,00	224,44	603,00	224,63	834,00	224,88	
985,800	217,32	420,00	224,50	603,00	224,69	834,00	224,94	
985,900	217,77	420,00	224,56	603,00	224,75	834,00	225,00	
986,000	217,41	420,00	224,63	603,00	224,81	834,00	225,06	
986,100	216,44	420,00	224,63	603,00	224,88	834,00	225,13	
986,200	218,44	420,00	224,69	603,00	224,88	834,00	225,19	



986,300	218,44	420,00	224.69	603,00	224.94	834,00	225.19	
986,400	217,55	420,00	224.75	603,00	224.98	834,00	225.25	
986,500	218,17	420,00	224.81	603,00	225.00	834,00	225.31	
986,600	217,56	420,00	224.81	603,00	225.06	834,00	225.38	
986,700	217,37	420,00	224.88	603,00	225.13	834,00	225.44	
986,800	217,62	420,00	224.94	603,00	225.19	834,00	225.50	
986,900	217,73	420,00	224.94	603,00	225.25	834,00	225.56	
987,000	218,21	420,00	225.00	603,00	225.25	834,00	225.63	
987,100	218,01	420,00	225.00	603,00	225.31	834,00	225.69	
987,200	218,59	420,00	225.06	603,00	225.38	834,00	225.75	
987,300	218,71	420,00	225.13	603,00	225.44	834,00	225.81	
987,400	217,55	420,00	225.13	603,00	225.50	834,00	225.88	
987,500	219,31	420,00	225.19	603,00	225.50	834,00	225.88	
987,600	218,88	420,00	225.25	603,00	225.56	834,00	225.94	
987,605	218,90	420,00	225.25	603,00	225.58	834,00	225.96	
987,615	218,84	420,00	225.25	603,00	225.63	834,00	226.00	MOST OPATOVICE
987,625	218,92	420,00	225.25	603,00	225.63	834,00	226.00	
987,700	219,62	420,00	225.25	603,00	225.63	834,00	226.00	
987,800	219,53	420,00	225.25	603,00	225.63	834,00	226.00	
987,853	225,32	420,00	225.35	603,00	225.80	834,00	226.10	
987,863	225,32	420,00	226.25	603,00	226.25	834,00	226.44	JEZ OPATOVICE
987,873	223,00	420,00	226.25	603,00	226.25	834,00	226.44	
987,900	220,46	420,00	226.25	603,00	226.25	834,00	226.44	
988,000	221,46	420,00	226.25	603,00	226.25	834,00	226.50	
988,100	220,86	420,00	226.31	603,00	226.38	834,00	226.63	
988,200	221,16	420,00	226.38	603,00	226.44	834,00	226.69	
988,300	221,24	420,00	226.44	603,00	226.50	834,00	226.81	
988,400	221,34	420,00	226.44	603,00	226.56	834,00	226.88	
988,500	221,45	420,00	226.50	603,00	226.63	834,00	226.94	
988,600	221,78	420,00	226.56	603,00	226.69	834,00	227.00	
988,700	221,61	420,00	226.63	603,00	226.75	834,00	227.06	
988,800	221,70	420,00	226,76	603,00	226,86	834,00	227.19	

## **6. Závěr**

Předmětem hydrotechnického posouzení bylo zpracování záplavového území Labe v úseku ř.km 982,3 – 988,5 z důvodu změny odtokových poměrů vlivem výstavby tělesa komunikace obchvatu Opatovic (silnice I/37) a připravovaného křížení záplavového území Labe silnicí R35. V rámci posouzení byl zpracován psaný podélný profil hladin a rozsah záplavového území pro průtoky  $Q_5$ ,  $Q_{20}$  a  $Q_{100}$  v situaci 1:5000.