

Hydraulické modelování

23. 3. 2017

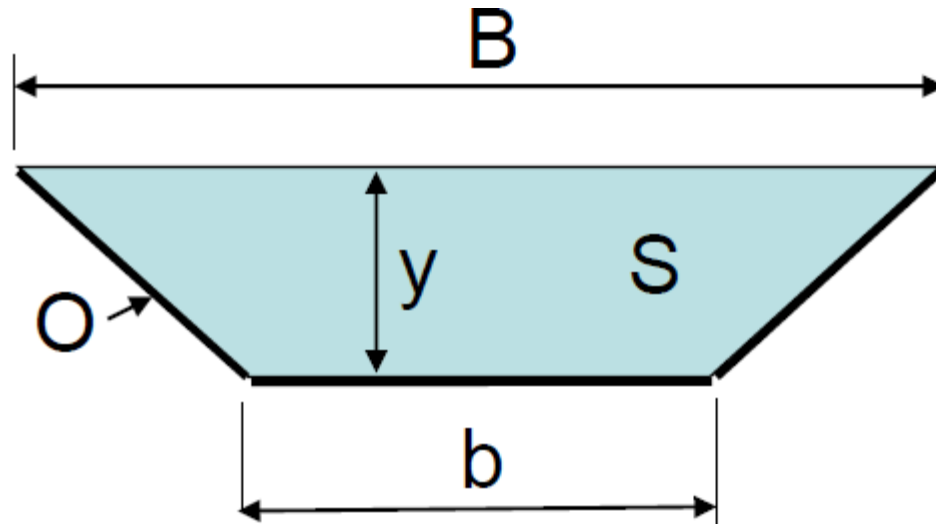
Proudění



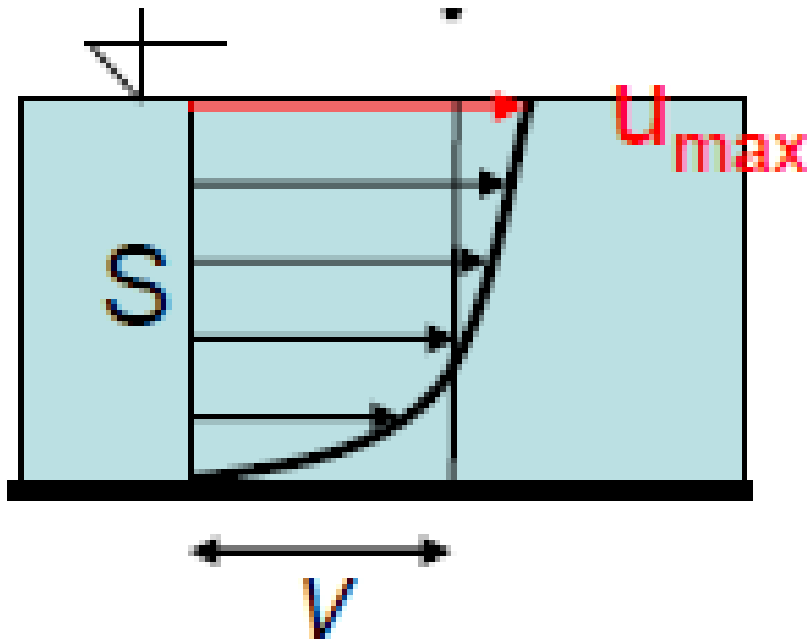
- Proudění je pohyb tekutiny, při kterém se částice tekutiny pohybují svým **neuspořádaným pohybem** a zároveň se posouvají **ve směru** proudění.
- Tekutina vždy proudí **z místa vyššího tlaku** (vyšší tlakové potenciální energie) **do místa nižšího tlaku** (nižší tlakové potenciální energie).
- s volnou hladinou – proud omezen pevnými stěnami, na povrchu volná hladina, pohyb důsledkem vlastní tíhy kapaliny
- tlakové – proud omezen ze všech stran pevnými stěnami, pohyb důsledkem rozdílu tlaků

Charakteristiky průtočného profilu

- hloubka koryta y , (h) [m]
- šířka koryta -ve dně b [m], - v hladině B [m]
- **průtočný průřez** S [m²]
- střední hloubka $y_s = S/B$ [m]
- **omočený obvod** O [m]



Proudění vody v korytě



průtok (objemový průtok)

$$Q = \frac{dV}{dt} = \int_S dQ = \int_S u dS$$

průměrová rychlost

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{1}{S} \int_S u dS$$

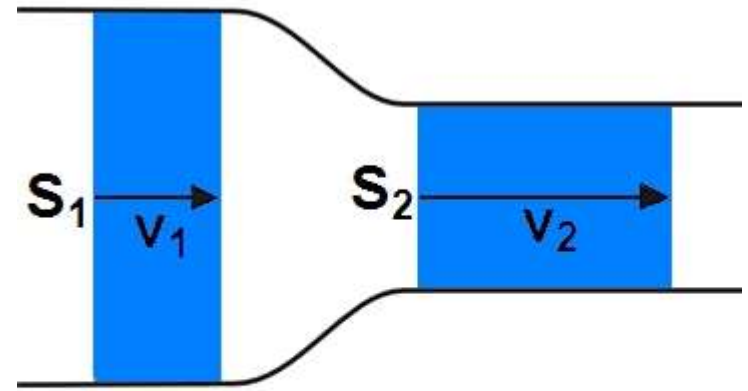
- u – bodová rychlost

Proudění stacionární (ustálené)

- nejjednodušší případ proudění kapalin
- každým průřezem protéká **stejný objem** kapaliny
- objem kapaliny, který proteče daným průřezem za jednotku času, se nazývá **objemový průtok Q_V** .

$$Q_V = S \cdot v$$

- jednotka: m^3/s



$$S_1 v_1 = S_2 v_2$$

- Ideální kapalina je nestlačitelná, proto je objemový průtok v každém průřezu stejný. Platí $Q_V = \text{konst.}$, což je rovnice **spojitosti toku** neboli **rovnice kontinuity**.
- užší průřez = větší rychlost proudění (zahradní hadice)

Proudění stacionární (ustálené)

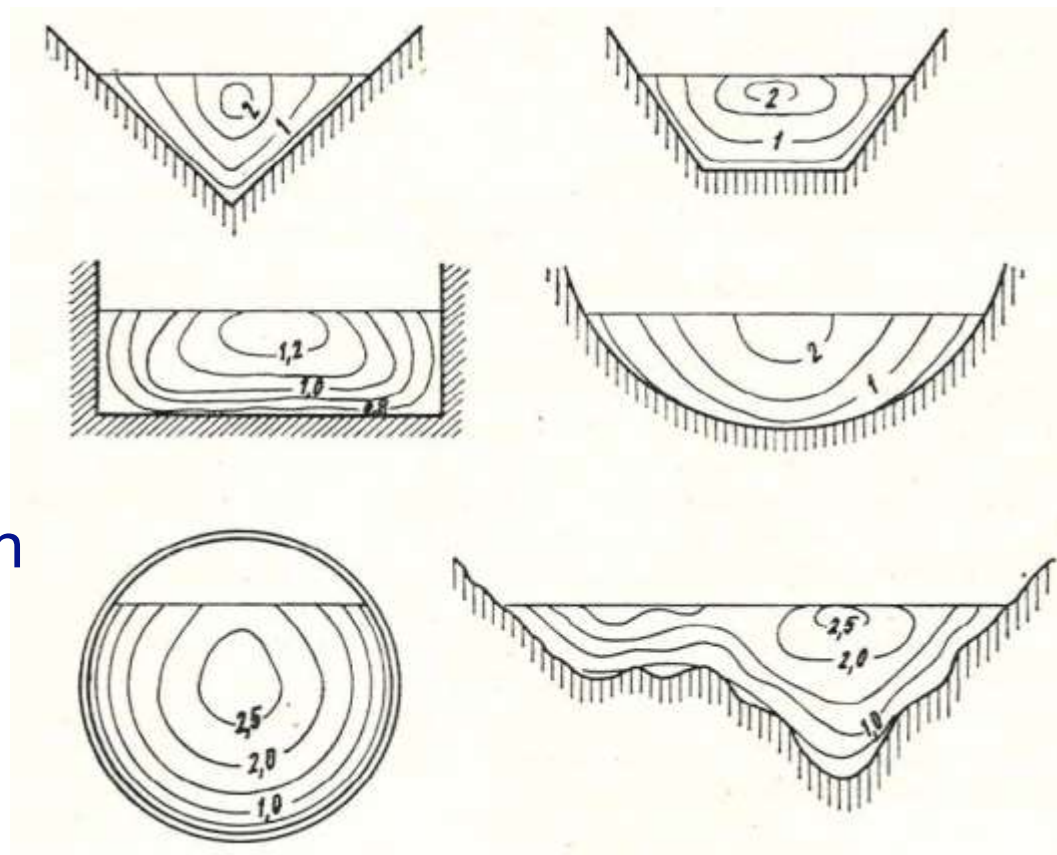
- průtok $Q = \text{konst.}$
- rovnoměrné $S = \text{konst.}$, $v = \text{konst.}$ ($S \dots$ průtočný průřez)
 - zvláštní případ ustáleného proudění
 - koryto pravidelného tvaru průtočného profilu ve všech profilech na zvoleném úseku (koryto nemění tvar)
 - konstantní sklon dna
 - v umělých kanálech
- nerovnoměrné $S \neq \text{konst.}$, $v \neq \text{konst.}$ ($v \dots$ průřezová rychlost)
 - v přirozených korytech, v upravených korytech, kde se mění průtoční průřez a sklon
 - průřezová rychlost, průtočná plocha se nemění v čase, ale v prostoru (po délce)

Rozdělení rychlosti po příčném průřezu

Ustálené proudění

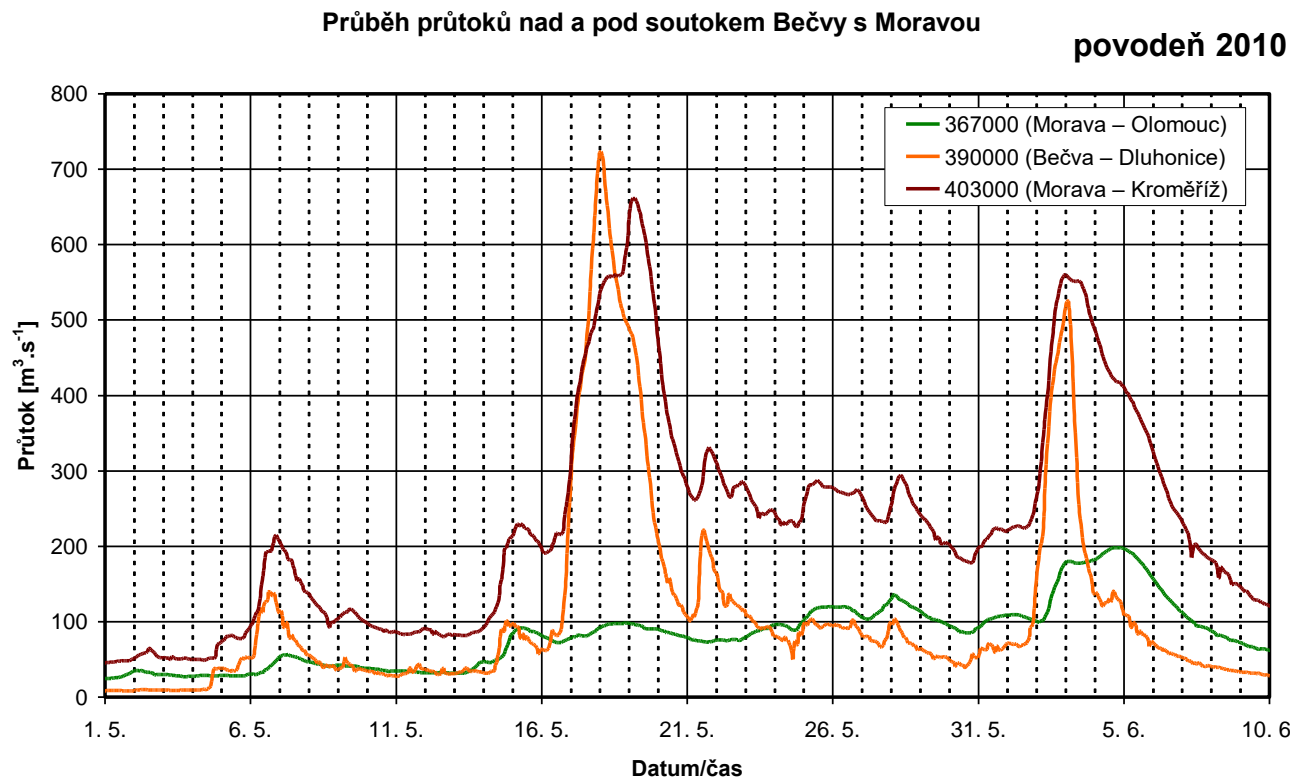
Závisí na:

- tvaru průřezu
- drsnosti povrchu
- vlivu proudění v obloucích

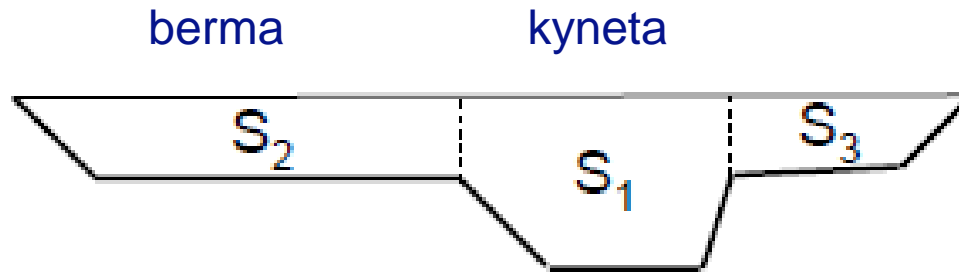


Proudění nestacionární (neustálené)

- Veličiny kapaliny jsou v daném místě kapaliny na čase závislé.
- např. rychlost proudění v daném bodě se může měnit v čase
- přínos výpočtu neustáleného proudění: možnost pozorování průběhu kulminace vodního stavu a modifikace říčního průtoku s postupem v území (vhodné pro plochá území)
- náročné na vstupní data – je třeba znát objem povodňových vln



Složené průřezy



Berma

- úzká terasovitá plošina, probíhající podél hráze, valu nebo jiného opevnění
- někdy užívaná také jako cesta

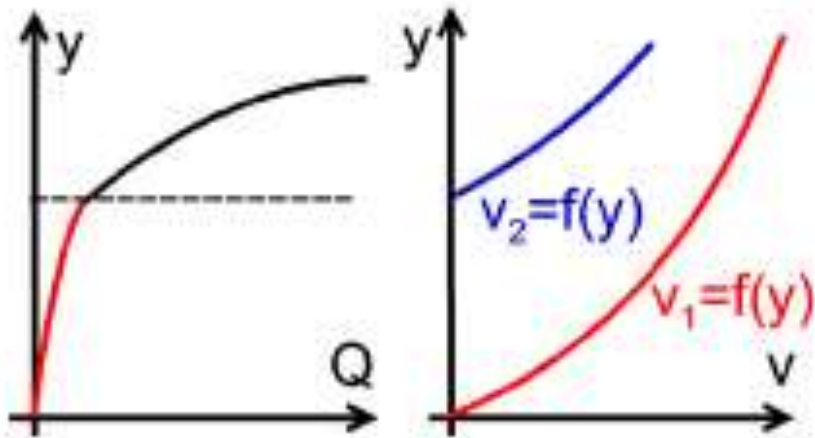
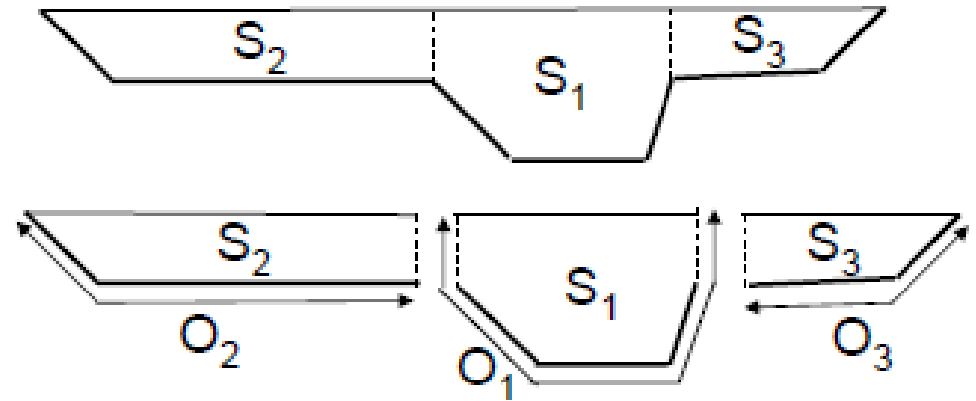
Kyneta

- prohloubená část ve dně koryta řeky, kanálu



Složené průřezy

- průtok $Q = \sum Q_i$
- dvě rychlostní křivky



Proudění v otevřeném korytě

V otevřeném korytě rozlišujeme:

- bystřinné proudění tam, kde se kapalina pohybuje rychleji, než se šíří vlny po její hladině - vlny nejsou schopny se šířit proti proudu
- říční proudění tam, kde se vlny proti proudu šířit mohou
- Přechod z říčního do bystřinného proudění se odehrává plynule, přechod z bystřinného do říčního proudění vytváří vodní skok.
- Proudění na rozhraní mezi říčním a bystřinným se nazývá kritické proudění.

Vstupní podklady pro HD modelování

- **Mapové podklady**
 - ZABAGED
 - Letecké snímky
- **Terénní průzkum**
- **Geodetické podklady**
 - Geometrie vodního toku
 - Geometrie objektů na vodním toku
 - Geometrie inundačního území
- **Doplňkové výškopisné podklady** (Vektorové vrstevnice geodatabáze ZABAGED)
- **Hydrologická data**
- **Hydrotechnické podklady**
- **Kalibrační podklady**

Geodetické podklady

- Geometrie vodního toku
 - polohopisné zaměření osy toku
 - polohopisné a výškopisné zaměření příčných profilů
 - vzdálenost mezi příčnými profily závisí na proměnlivosti tvaru říčního koryta
 - rozsahu od několika desítek metrů až po stovky metrů u pravidelných velkých koryt
 - Obvyklá vzdálenost v podmínkách našich toků 50 až 100 metrů v intravilánu a 200 až 400 m v extravilánu
 - zaměření má co nejdříve zachytit prostorovou variabilitu vodního toku
 - zachycení všech významných změny v geometrii koryta (změny příčného průřezu koryta, změny podélného sklonu apod.).
 - polohopisné a výškopisné zaměření objektů na vodním toku

Geodetické podklady

- Geometrie objektů na vodním toku
 - podrobné zaměření všech objektů situovaných na vodním toku ovlivňujících průchod povodňových průtoků
 - mostní objekty, lávky, jezy, brody atd.

- Geometrie inundačního území
 - 1D model
 - geodetické zaměření vhodně zvolených údolních profilů
 - orientace údolních profilů přibližně kolmo na hlavní proudnici
 - přímé, nebo zalomené
 - délka odpovídající šířce předpokládaného rozsahu zaplavovaného území
 - 2D model
 - geodetické zaměření vhodně zvolených údolních profilů
 - DMT

Hydrologická data

- charakteristiky pro povodňové scénáře s dobou opakování 5, 20, 100 a 500 let v horním a dolním profilu zájmového úseku toku a v místech všech významných přítoků

Hydrotechnické podklady

- manipulační řady hydrotechnických děl a objektů

Kalibrační podklady

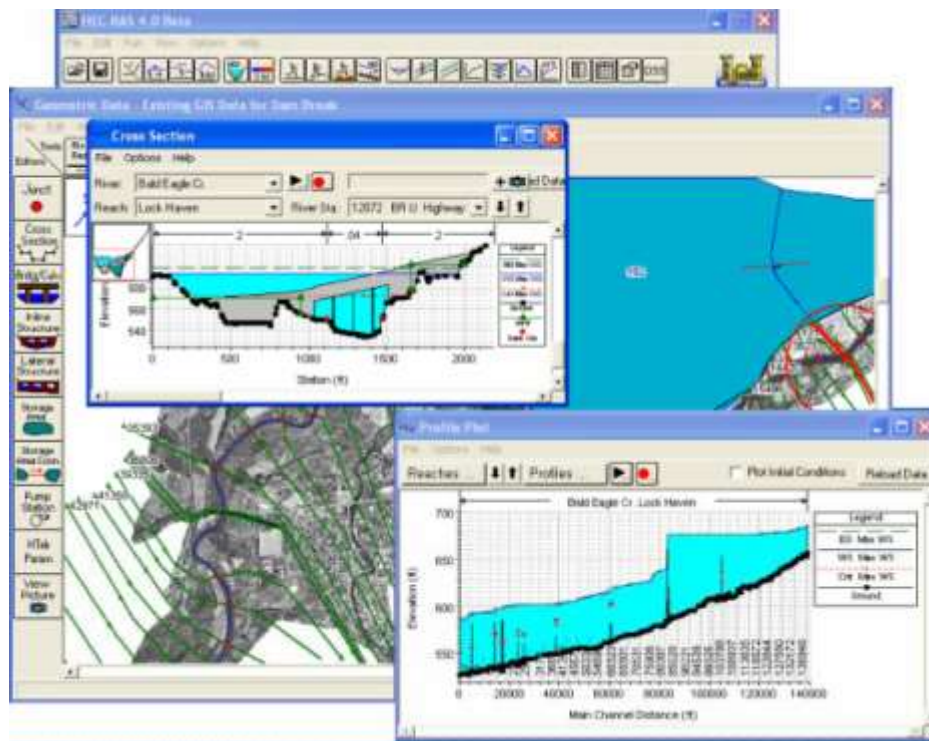
- veškeré dostupné informace o výskytu a průběhu minulých povodní
- informace o velikosti kulminačního průtoku a zjištěných maximálních úrovních hladin
- povodňové značky, informace o rozsahu záplavy a tvaru záplavové čáry při maximálním rozlivu minulých povodní

Matematické modelování

- při jeho řešení je nutné přijmout zjednodušující předpoklady
- kompromis závislý na úrovni dostupných dat a finančních možnostech

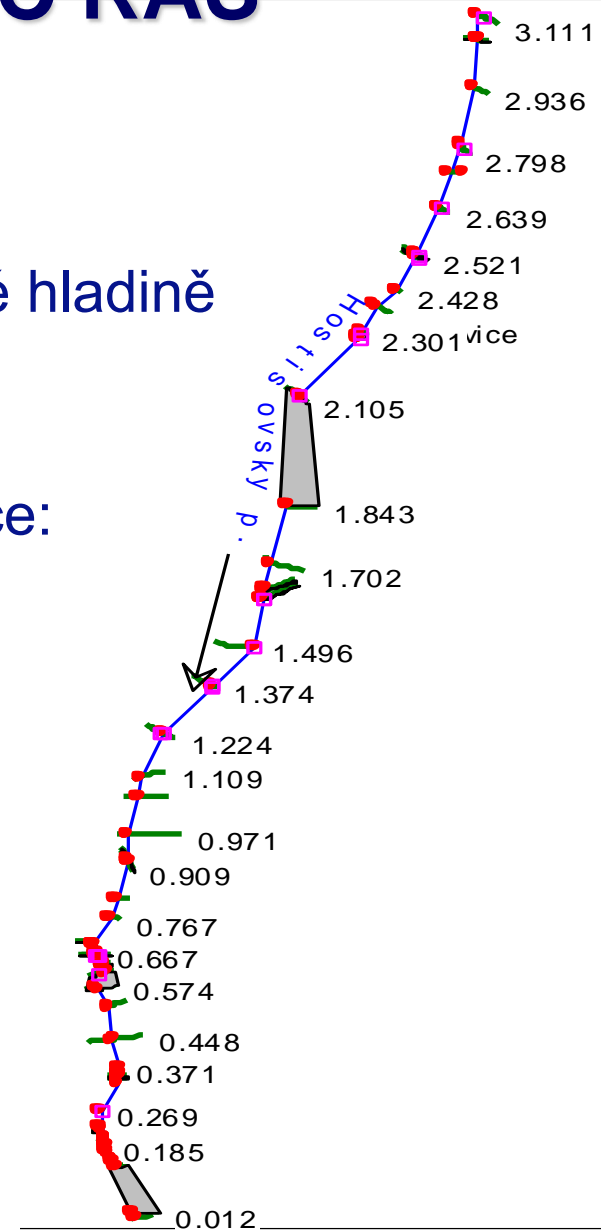
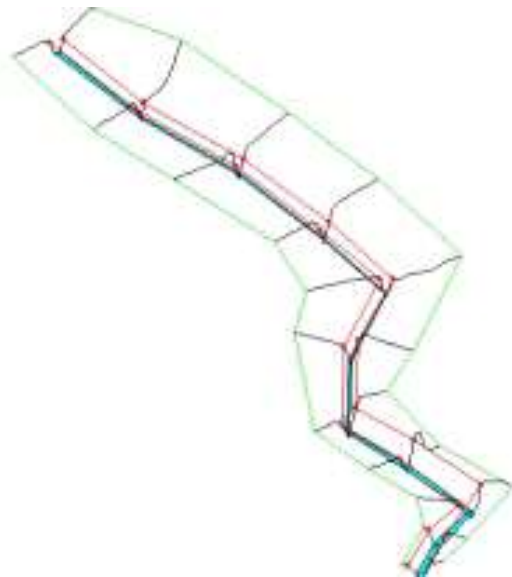
1D matematický model

- HEC RAS
- MIKE 11 (firma DHI)



1D modelování – HEC RAS

- HEC – Hydrologic Engineering Center
- RAS – River Analysis Systém
- 1D matematický model proudění o volné hladině
 - proudění ustálené
 - proudění neustálené
- Freeware včetně kompletní dokumentace:
- <http://www.hec.usace.army.mil>



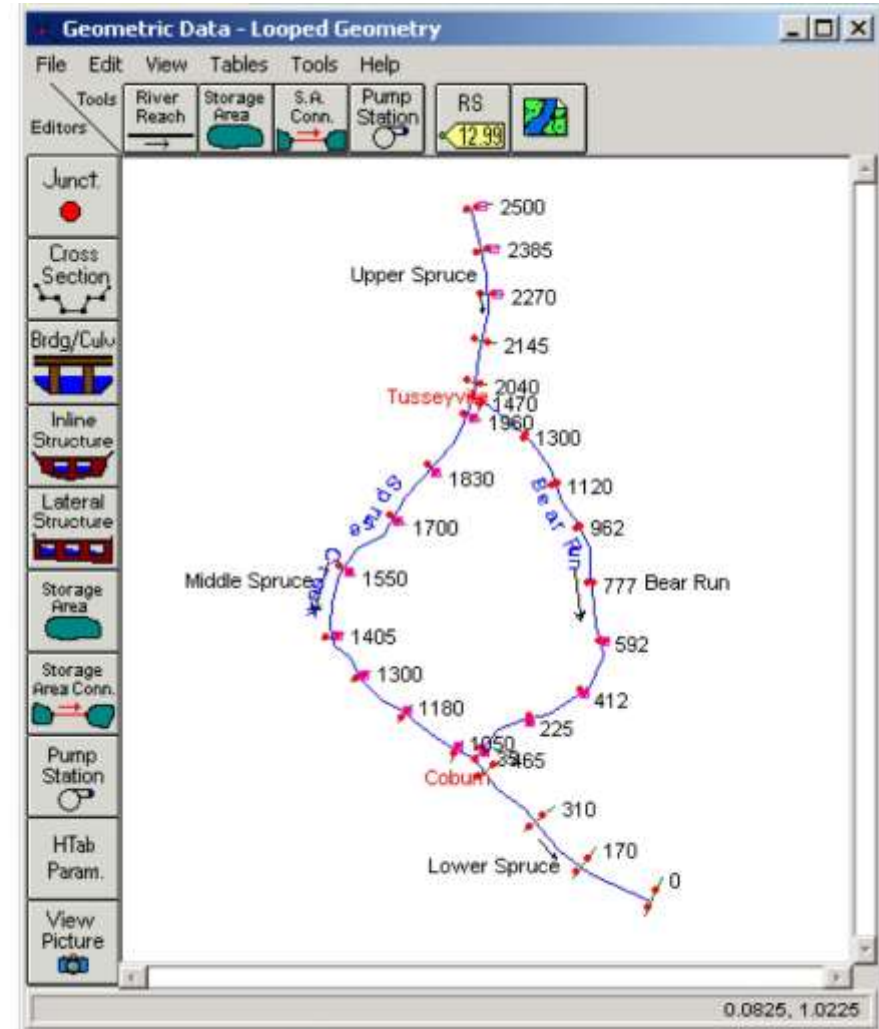
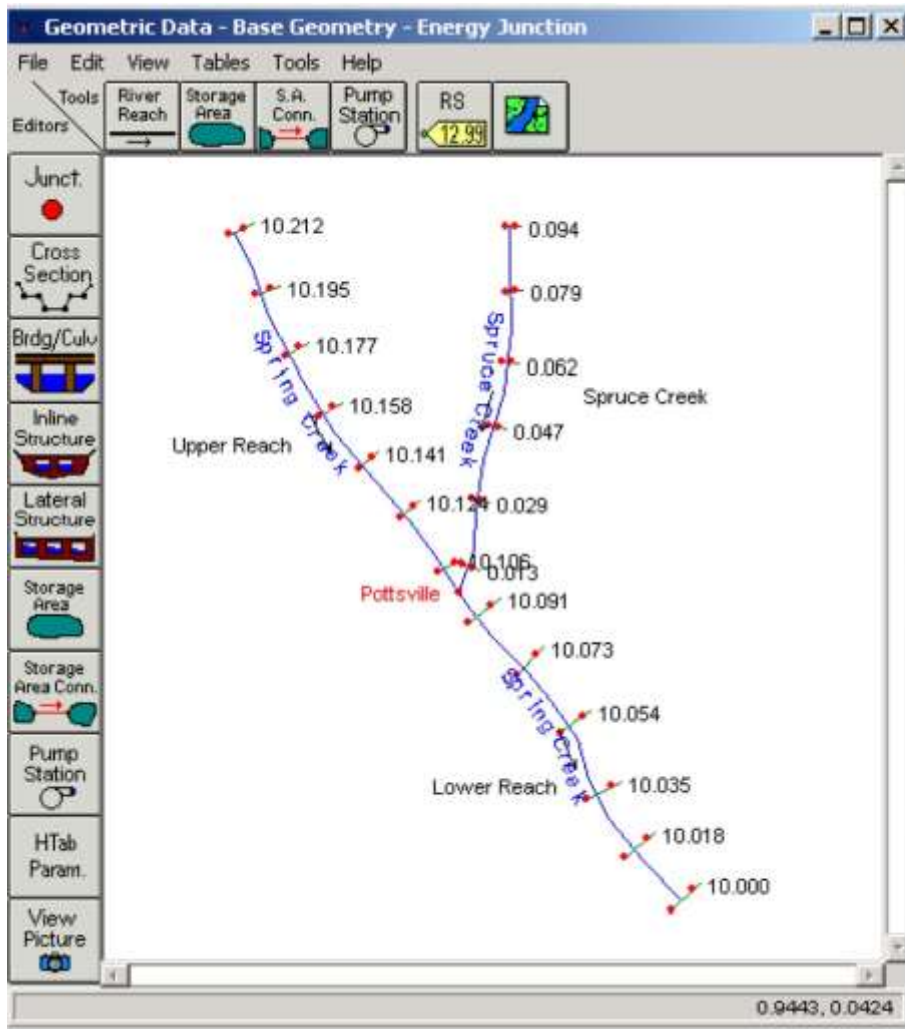
Ustálené proudění

Steady Flow

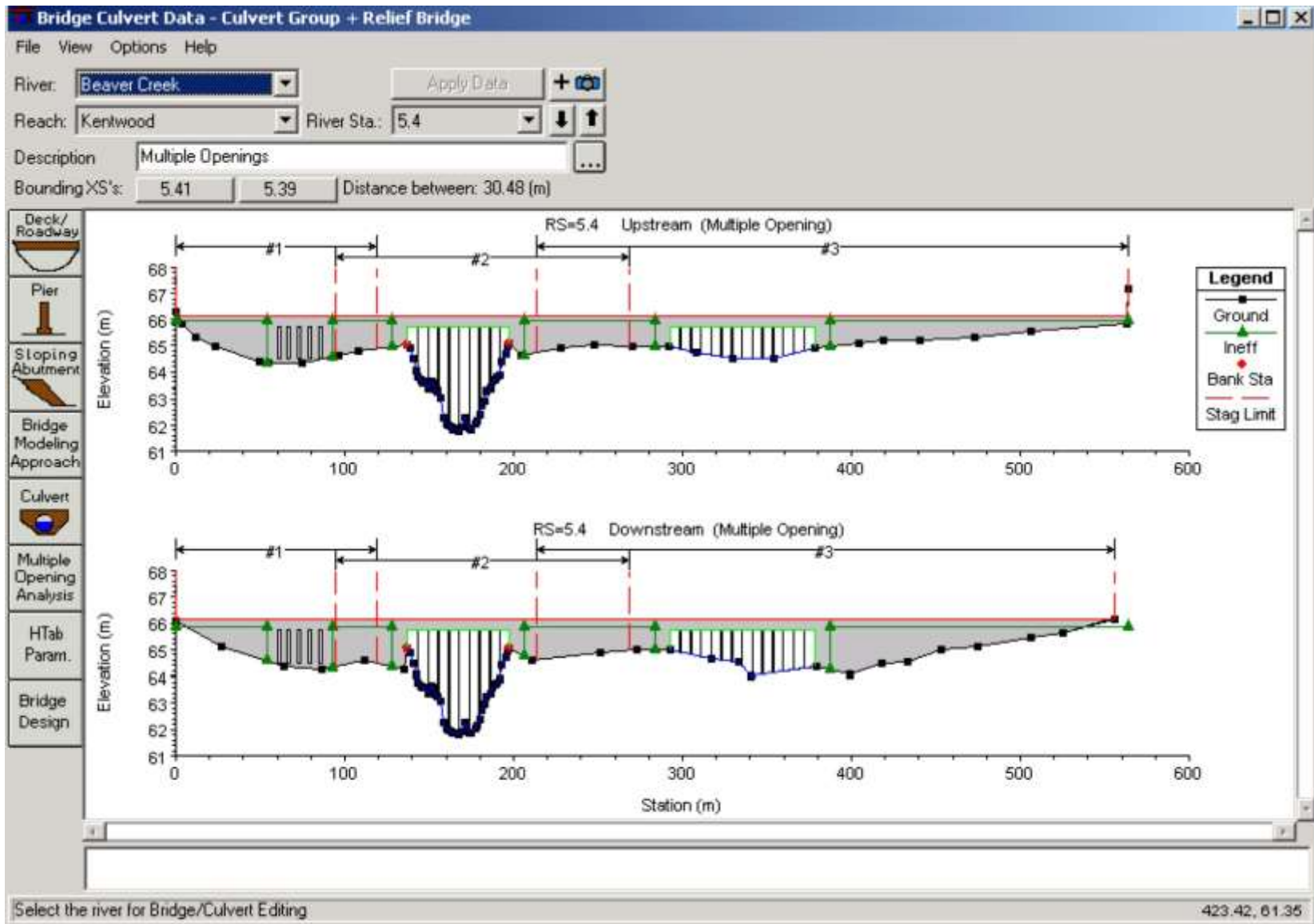
- výpočet průběhu hladiny v profilech říční sítě nebo dílčích úseků toku
- řeší proudění říční, bystřinné, jejich kombinace,
- řeší proudění přes objekty: propustek, most, jez,
- výpočet průběhu hladin je založen na metodě „po úsecích“, vychází z Bernoulliho rovnice,
 - rozdělení koryta na úseky
 - předpoklad: průtočné profily i rychlosti se mění spojitě z horního do dolního profilu
 - řešení začíná v profilu se známou hloubkou vody (zadaná okrajová podmínka)

Schematické vykreslení trasy

- soutoky a dělení proudu - možnost řešení složitých říčních sítí (větevných i „okruhových“)



- objekty na tocích (příčné či podélné) - jezy, mosty, propustky, stavidla, nádrže



Výstupy

Cross Section Output

File Type Options Help

River: Beaver Creek Profile: 25 yr

Reach: Kentwood RS: 5.99 Plan: Mult Open

Plan: Mult Open Beaver Creek Kentwood RS: 5.99 Profile: 25 yr

E.G. Elev (m)	66.31	Element	Left DB	Channel	Right DB
Vel Head (m)	0.06	Wt. n-Val.	0.136	0.040	0.140
W.S. Elev (m)	66.25	Reach Len. (m)	134.11	182.88	121.92
Crit W.S. (m)	65.47	Flow Area (m ²)	202.80	41.92	1.15
E.G. Slope (m/m)	0.001992	Area (m ²)	202.80	41.92	1.15
Q Total (m ³ /s)	141.58	Flow (m ³ /s)	76.37	65.12	0.09
Top Width (m)	289.63	Top Width (m)	254.82	24.99	9.82
Vel Total (m/s)	0.58	Avg. Vel. (m/s)	0.38	1.55	0.08
Max Chl Dpth (m)	3.80	Hydr. Depth (m)	0.80	1.68	0.12
Conv. Total (m ³ /s)	3172.3	Conv. (m ³ /s)	1711.2	1459.1	2.0
Length Wtd. (m)	161.49	Wetted Per. (m)	255.82	25.52	9.82
Min Ch EI (m)	63.98	Shear (N/m ²)	15.49	32.09	2.28
Alpha	3.58	Stream Power (N/m s)	5.83	49.85	0.17
Frctn Loss (m)	0.38	Cum Volume (1000 m ³)	89.23	84.30	159.04
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m ²)	128.50	49.29	266.72

Errors, Warnings and Notes

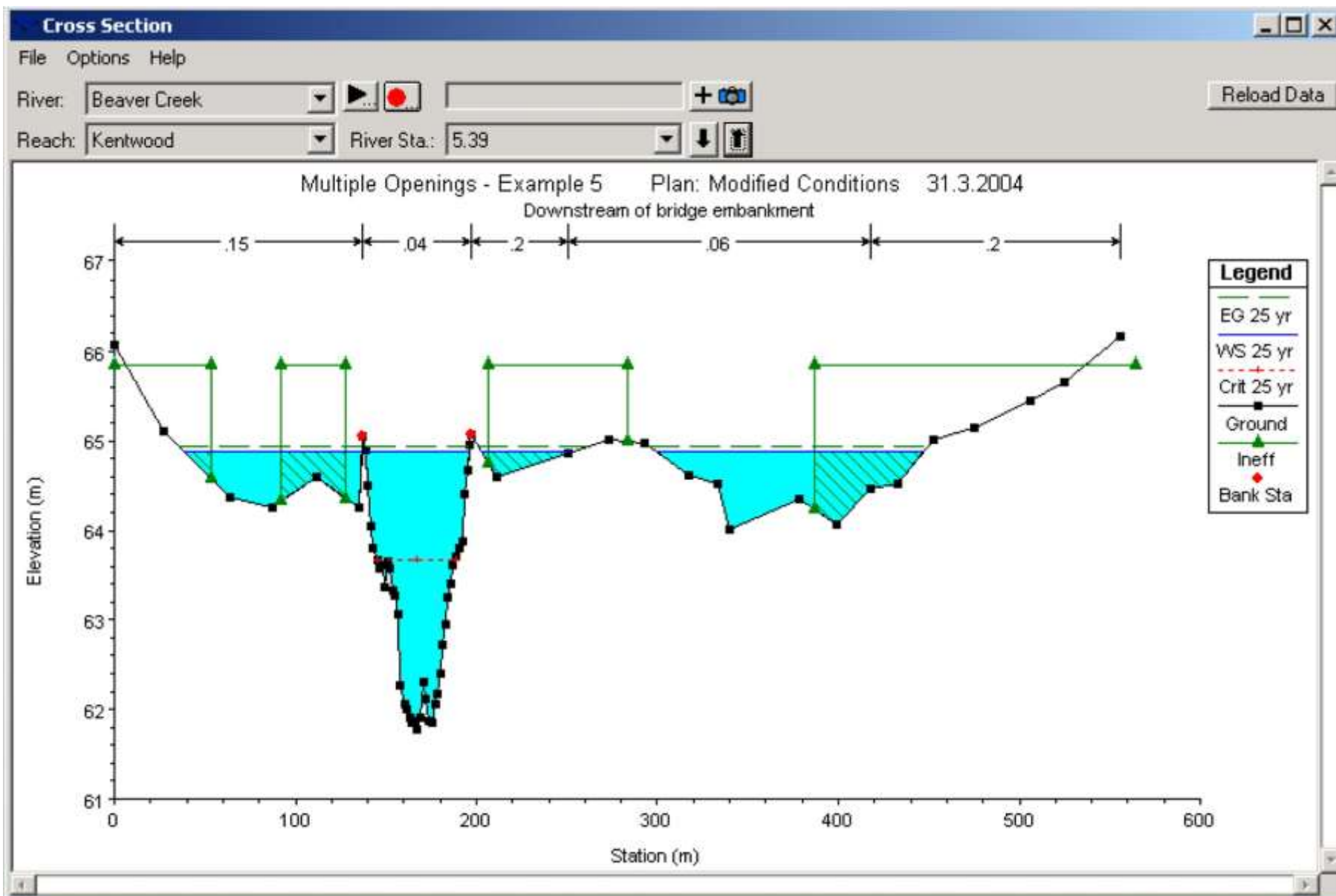
Warning: The energy loss was greater than 1.0 ft (0.3 m) between the current and previous cross section. This may indicate the need for additional cross sections.

Výstupy

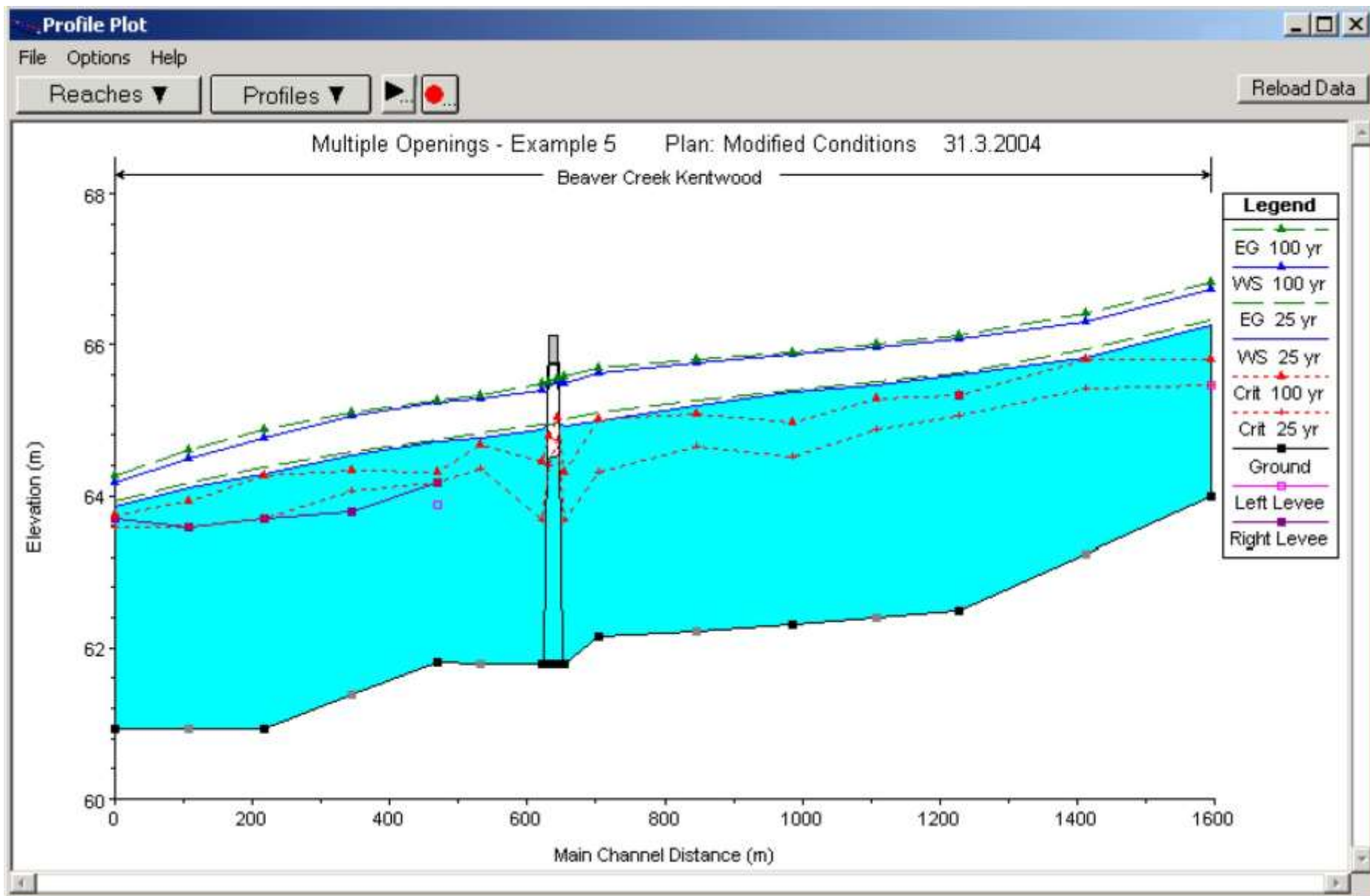
Profile Output Table - Standard Table 1											
HEC-RAS Plan: Plan 07 Profile: PF 1											Reload Data
Reach	River Sta	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Heralec	167.073	11.00	37.88	38.91		38.98	0.001756	1.14	9.66	11.23	0.39
Heralec	167.028	11.00	37.73	38.75		38.84	0.006384	1.34	8.22	9.41	0.46
Heralec	166.997	11.00	37.52	38.72		38.78	0.000729	1.05	10.45	9.41	0.32
Heralec	166.976	11.00	37.52	38.70		38.76	0.000857	1.11	9.97	10.56	0.34
Heralec	166.954	11.00	37.52	38.68	38.16	38.74	0.000922	1.13	9.73	9.41	0.35
Heralec	166.952	Bridge									
Heralec	166.950	11.00	37.52	38.67		38.74	0.000935	1.14	9.69	9.41	0.36
Heralec	166.897	11.00	37.51	38.60		38.68	0.001126	1.24	8.88	9.63	0.39
Heralec	166.860	11.00	37.49	38.57		38.64	0.000930	1.14	9.69	9.41	0.36
Heralec	166.830	11.00	37.56	38.57		38.61	0.000554	0.84	13.14	14.31	0.28
dolni	166.820	12.00	37.56	38.56		38.60	0.000694	0.93	12.93	14.31	0.31
dolni	166.795	12.00	37.50	38.50		38.58	0.001182	1.21	9.89	10.81	0.40
dolni	166.748	12.00	37.35	38.45		38.52	0.001107	1.19	10.10	10.41	0.38
dolni	166.712	12.00	37.29	38.39		38.48	0.001361	1.28	9.40	10.41	0.43
dolni	166.678	12.50	37.28	38.35		38.43	0.001256	1.27	9.86	10.21	0.41
dolni	166.653	12.50	37.36	38.24	38.03	38.38	0.003026	1.66	7.54	10.20	0.62
dolni	166.652	Bridge									
dolni	166.648	12.50	37.33	38.21		38.34	0.002453	1.56	8.02	10.20	0.56
dolni	166.607	12.50	37.16	38.13	37.84	38.24	0.002090	1.50	8.31	10.00	0.53

Total flow in cross section.

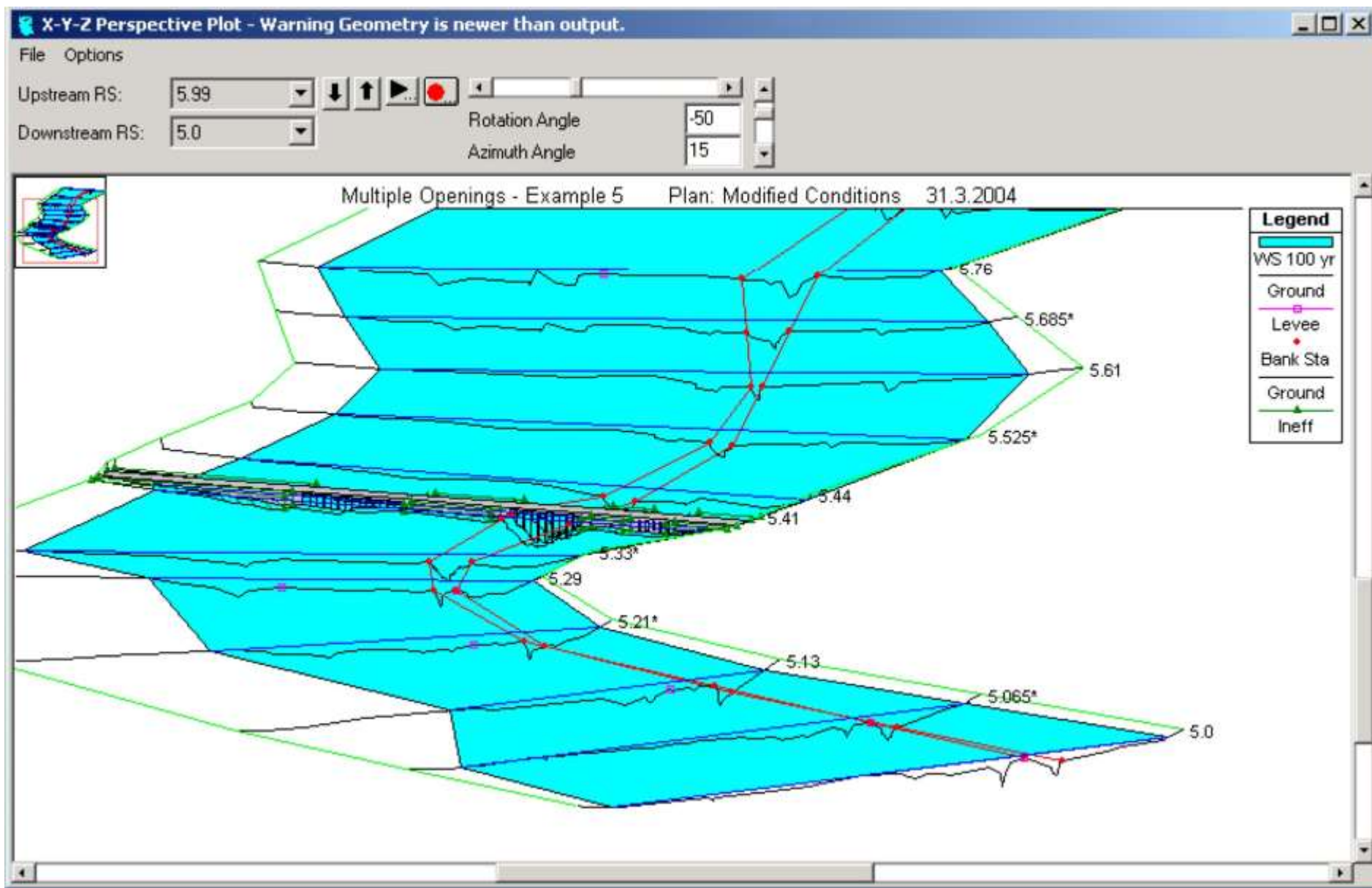
Výstupy



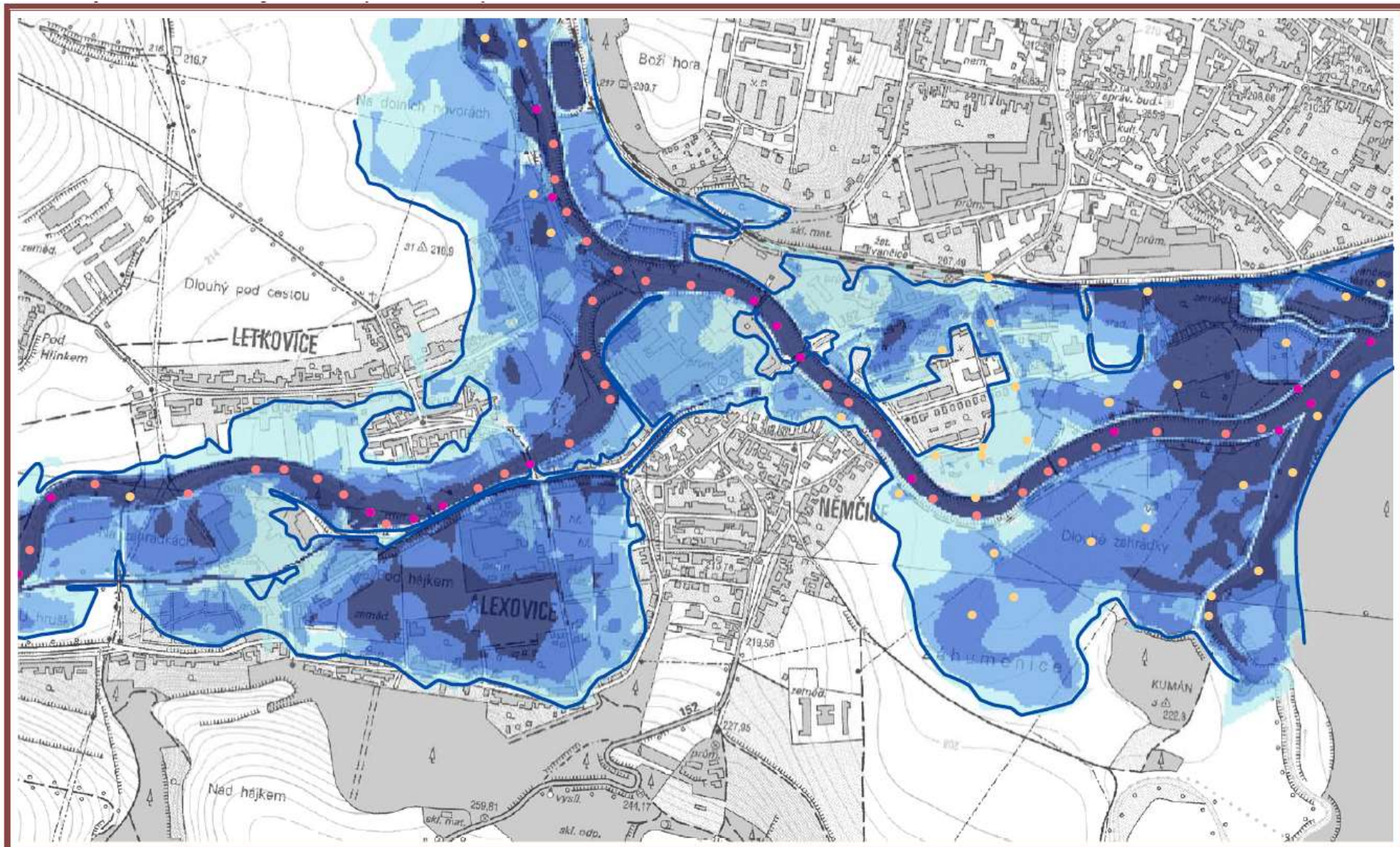
Výstupy



Výstupy



Výstupy 1D modelování



© Zpracoval:
Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.Masaryka, v.v.i., pobočka Brno
na podkladě rastrových map 1 : 10 000 (RZM10)
a vyhlášených záplavových území



0 100 200 300 400 m

Hloubky [m]

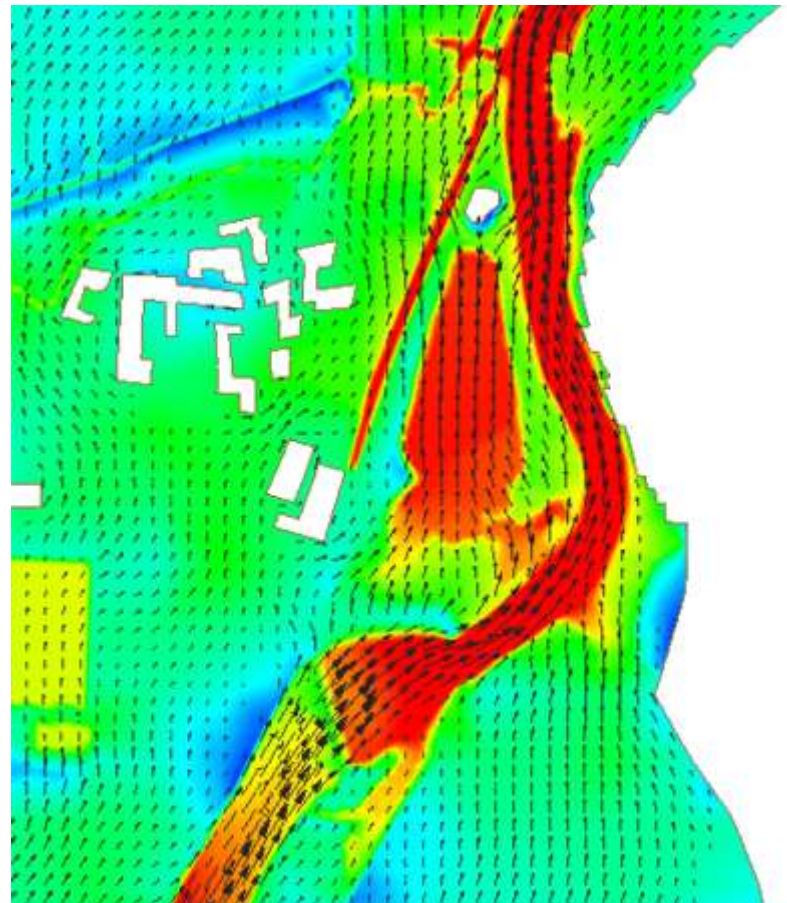


Rychlosti [m/s²]

2D matematický model

- informace o plošném rozdělení hloubek a rychlostí v celém záplavovém území
- náročnější na vstupní data, na vlastní výpočet a dobu zpracování

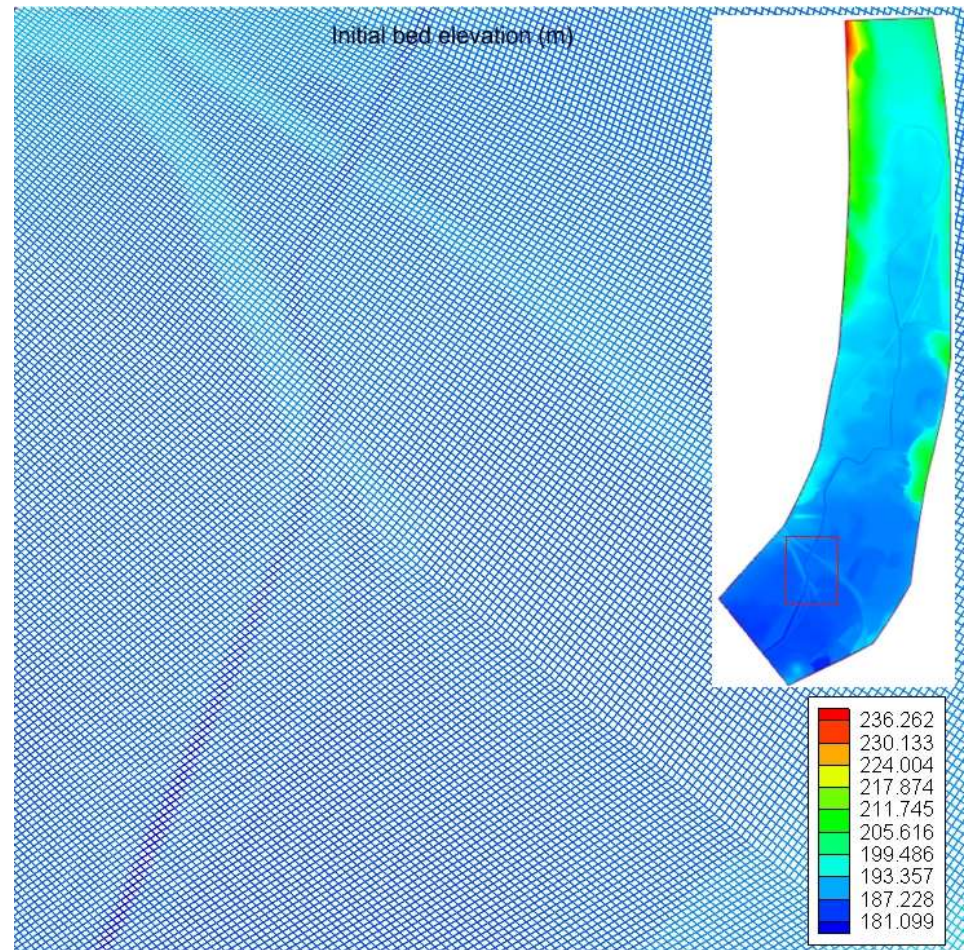
- FESWMS
- FAST 2D
- MIKE 21
- CFD
- CCHE 2D



Příklady 2D modelů

Numerický model CCHE 2D

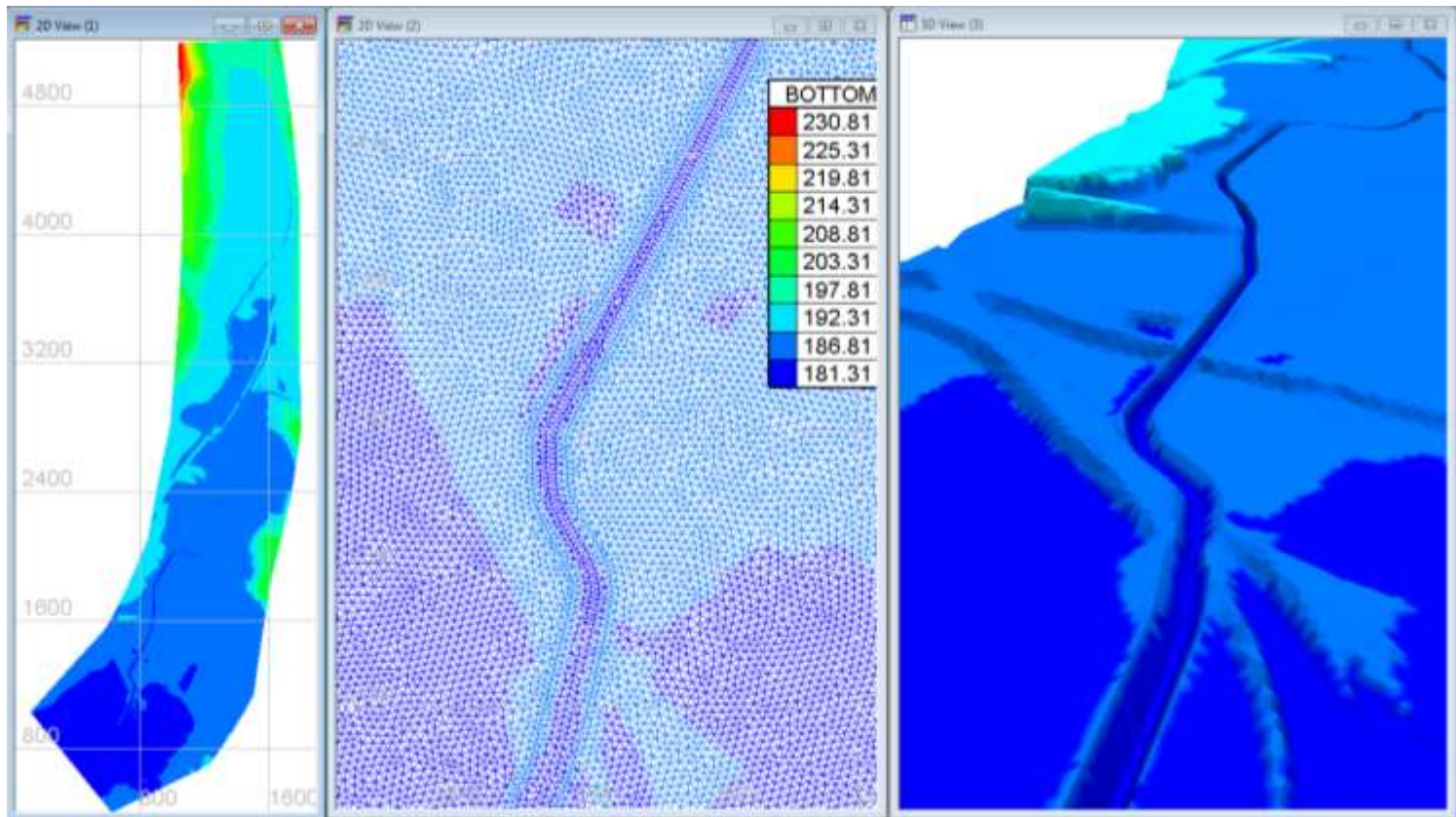
- čtyřúhelníková křivočará síť



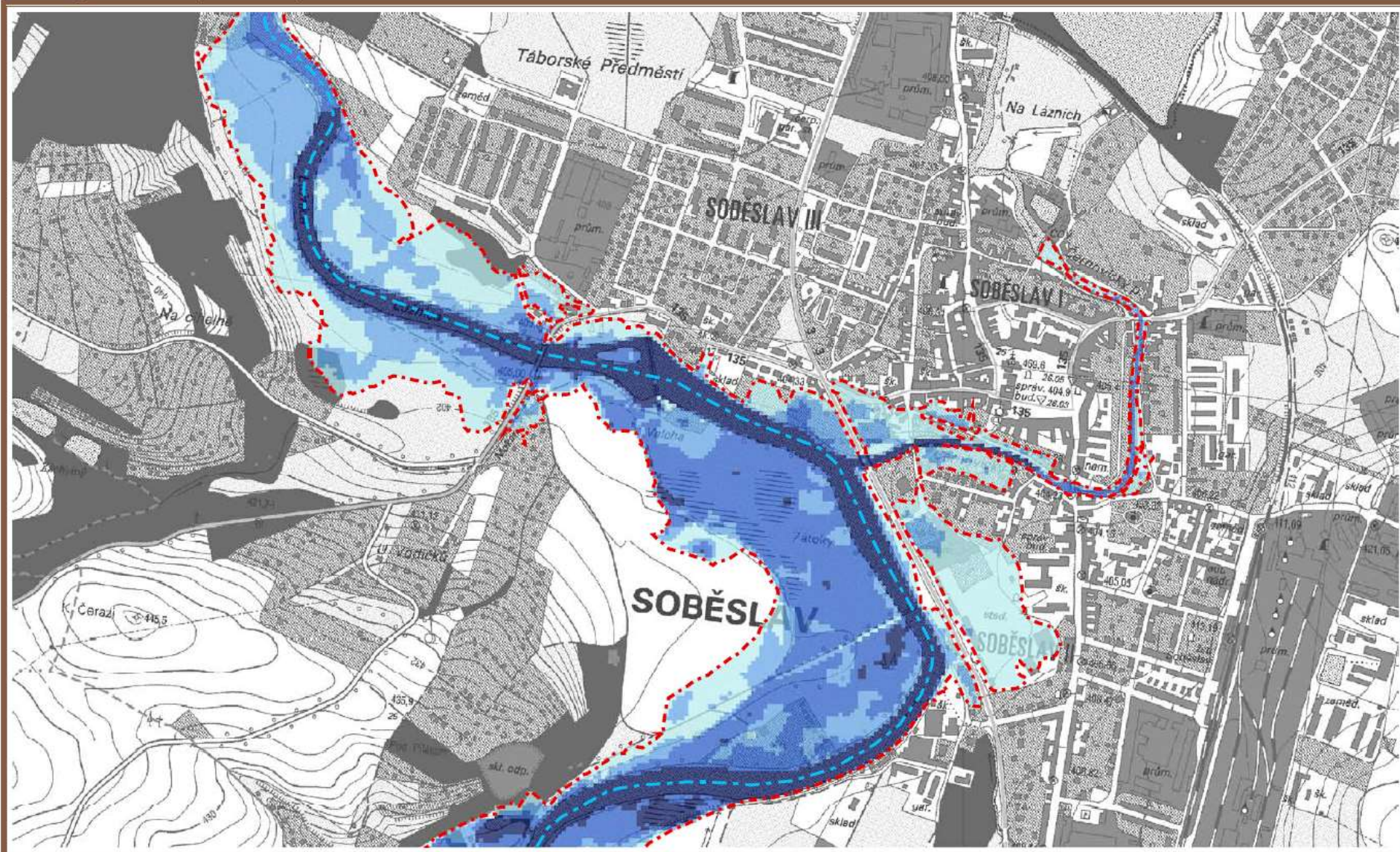
Příklady 2D modelů

Numerický model CCHE 2D

- trojúhelníkové elementy
- zahrnuty linie dnových a břehových hran



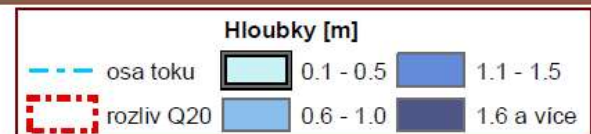
Výstupy 2D modelování



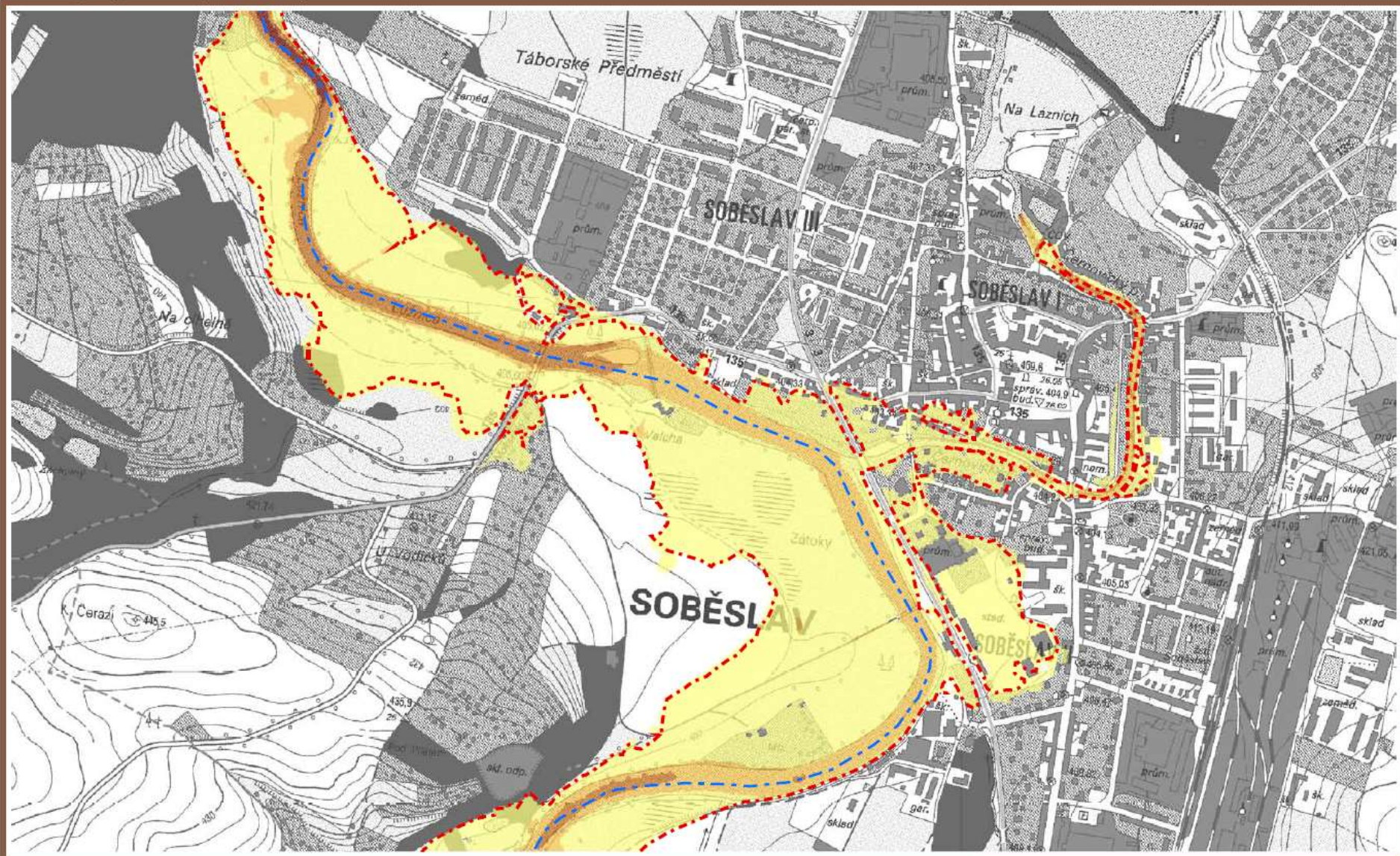
© Zpracoval:
Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.Masaryka, v.v.i., pobočka Brno
na podkladě rastrových základních map 1 : 10 000 (RZM 10)
a vyhlášených záplavových území



0 100 200 300 400 m



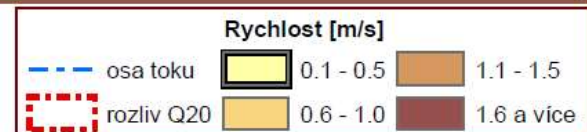
Výstupy 2D modelování



© Zpracoval:
Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.Masaryka, v.v.i., pobočka Brno
na podkladě rastrových základních map 1 : 10 000 (RZM 10)
a vyhlášených záplavových území

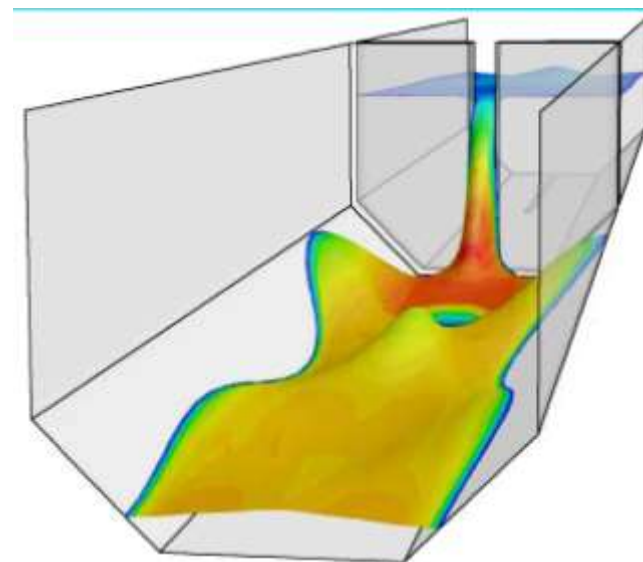
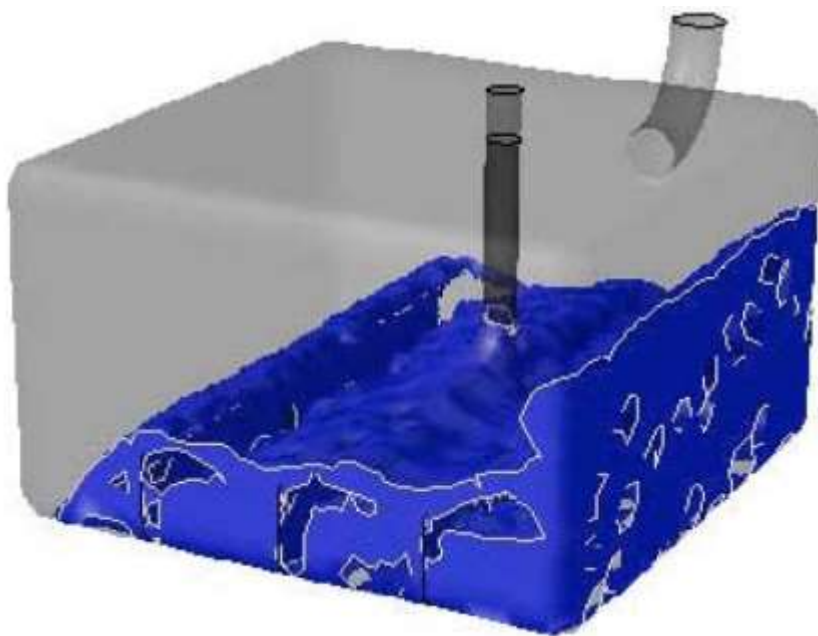


0 100 200 300 400 m



3D model

- detaily proudění (např. vývar)
 - MIKE 3
 - CFD



Exkurze VUT

- **18. 4. v 9 hod**
- sraz: 8:55 hod před hlavní budovou VUT FAST
Veveří 95
- trvání cca 1,5 hod

Cvičení č. 2

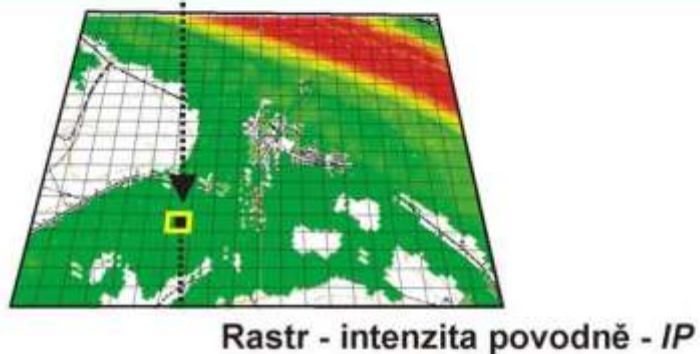
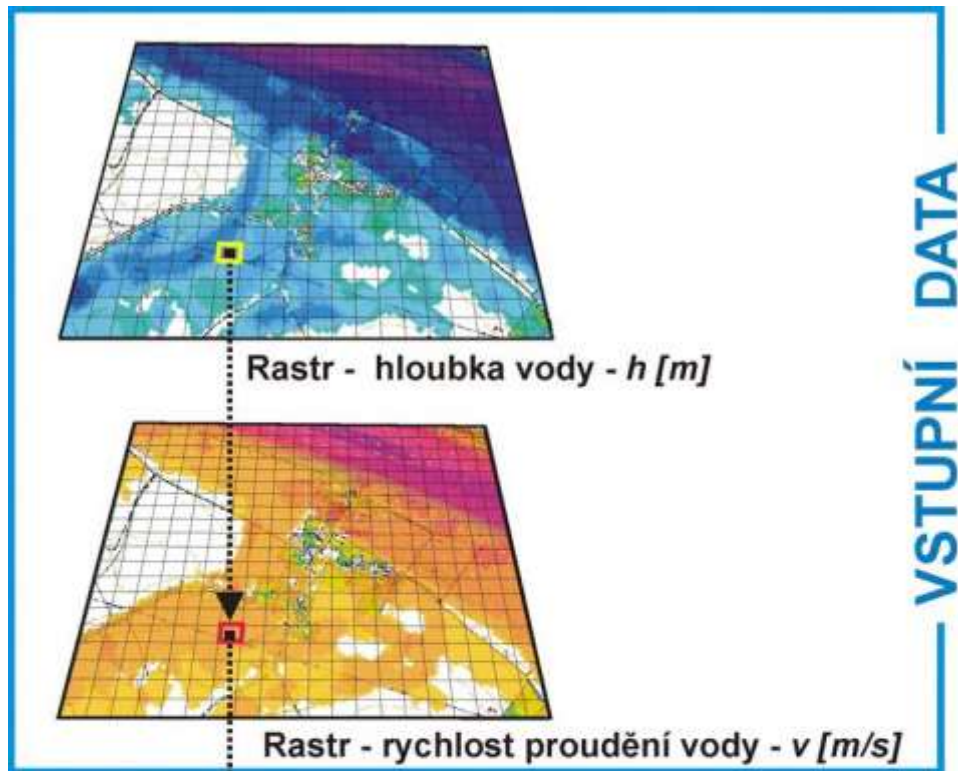
Stanovení ohrožení pro 3 scénáře nebezpečí

- vstupní data:
 - **mapa hloubek**
 - **mapa rychlostí**
- výpočet intenzity povodně
- stanovení ohrožení podle matice rizika
- výběr maximálního povodňového ohrožení

Výstup:

- mapa povodňového ohrožení na podkladu RZM 10
- vizualizace podle Metodiky tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik (kap. 7)

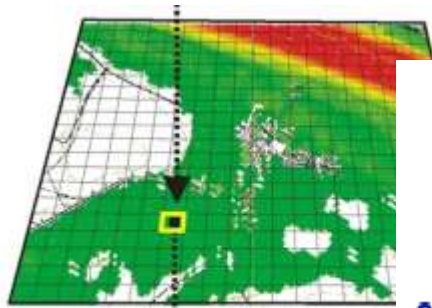
Postup metody matice rizika



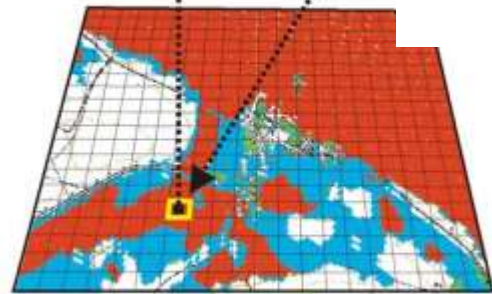
Intenzita povodně – IP

$$IP = \begin{cases} 0 & h=0 \\ 0,3+1,35 \cdot h & h>0, v<1\text{m/s} \\ 0,3+1,35 \cdot h \cdot v & v>1\text{m/s} \end{cases}$$

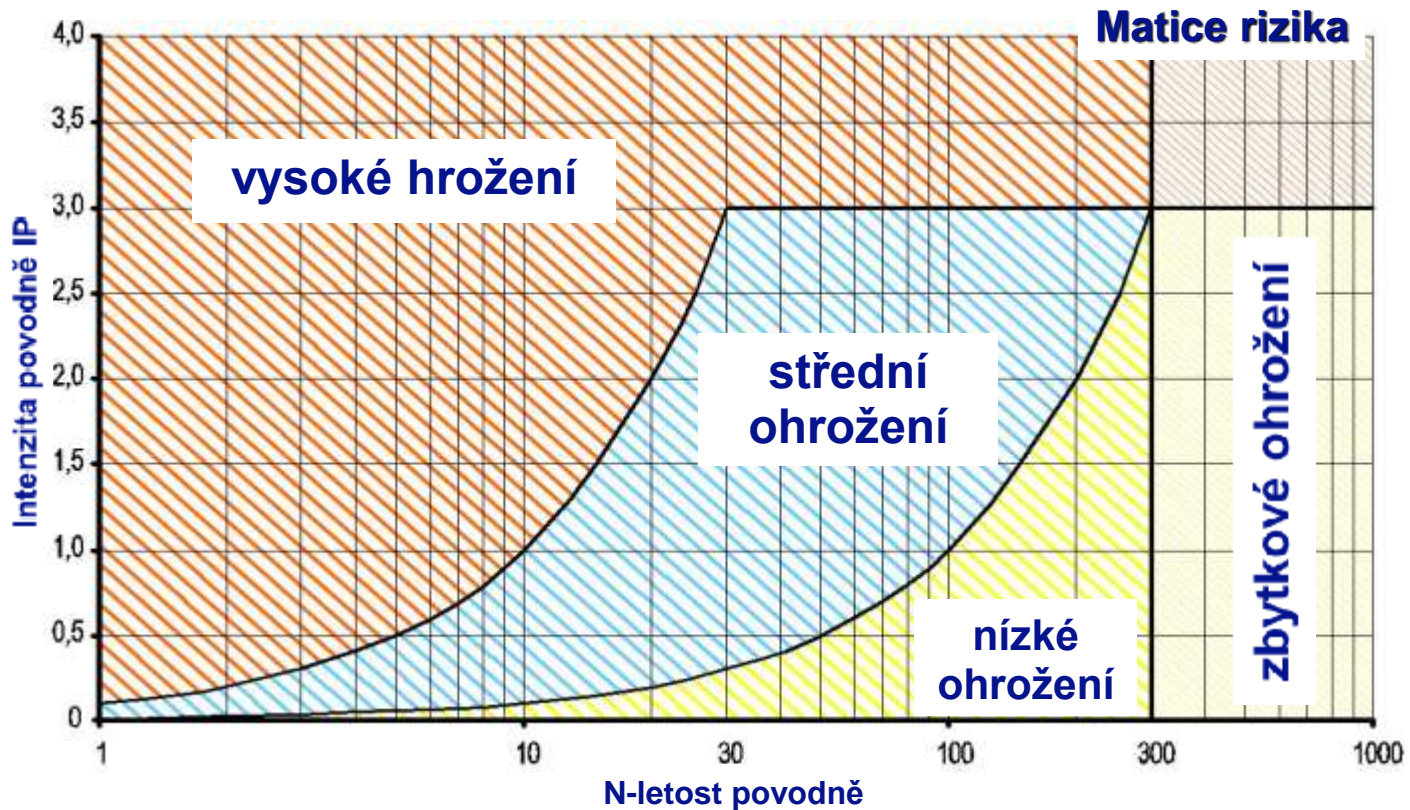
Postup metody matice rizika



Rastr - inter



Rastr - ohrožení - RI



$$R_i(x, y) = IP_i(x, y) \cdot P_i$$

$$P_i = 1 - e^{-\frac{1}{N}} \quad P \approx \frac{1}{N}$$

P_i ... pravděpodobnost výskytu daného i-tého povodňového scénáře (s danou N-letostí)

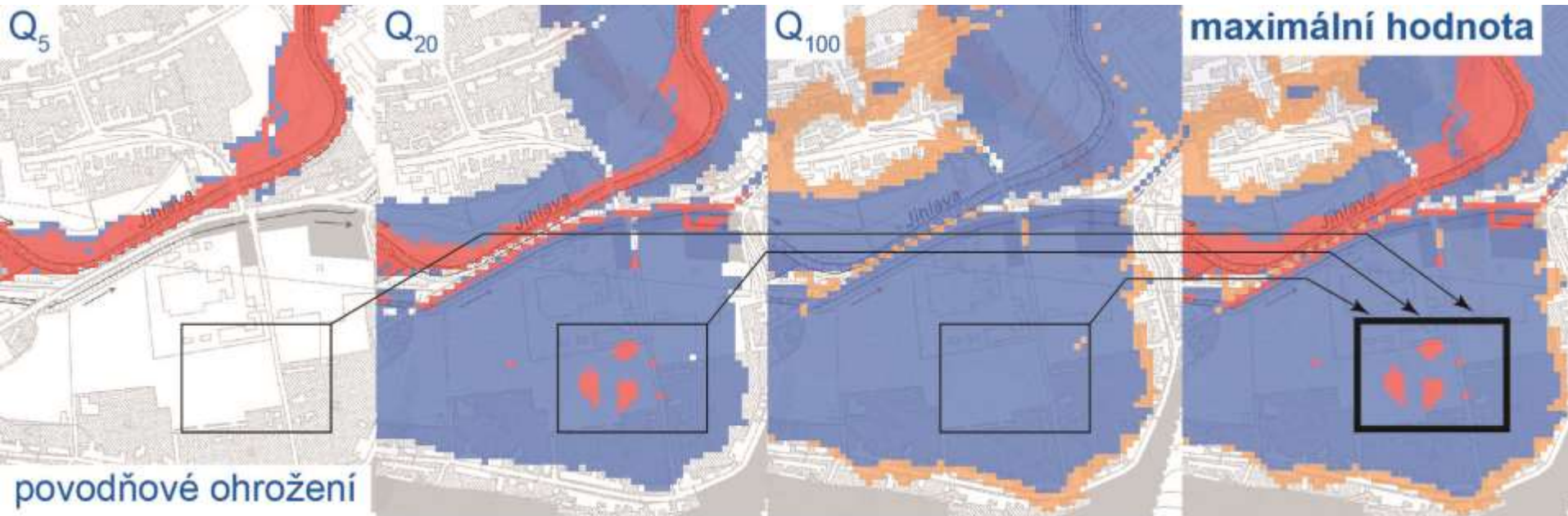
Maximální ohrožení

- stanovení ohrožení RI pro jednotlivé scénáře povodňového nebezpečí ($Q_5, Q_{20}, Q_{100}, Q_{500}$)
- určení maximální hodnoty ohrožení RI v bodě (x, y) na základě ohrožení RI_i odpovídající jednotlivým scénářům nebezpečí (s danou N -letostí)

$$RI(x, y) = \max_{i=1}^n RI_i(x, y)$$

- Výsledek: rastr maximální hodnoty ohrožení RI v bodě (x, y)

Výběr maximálního povodňového ohrožení



Mapa povodňového ohrožení



Břeclav

