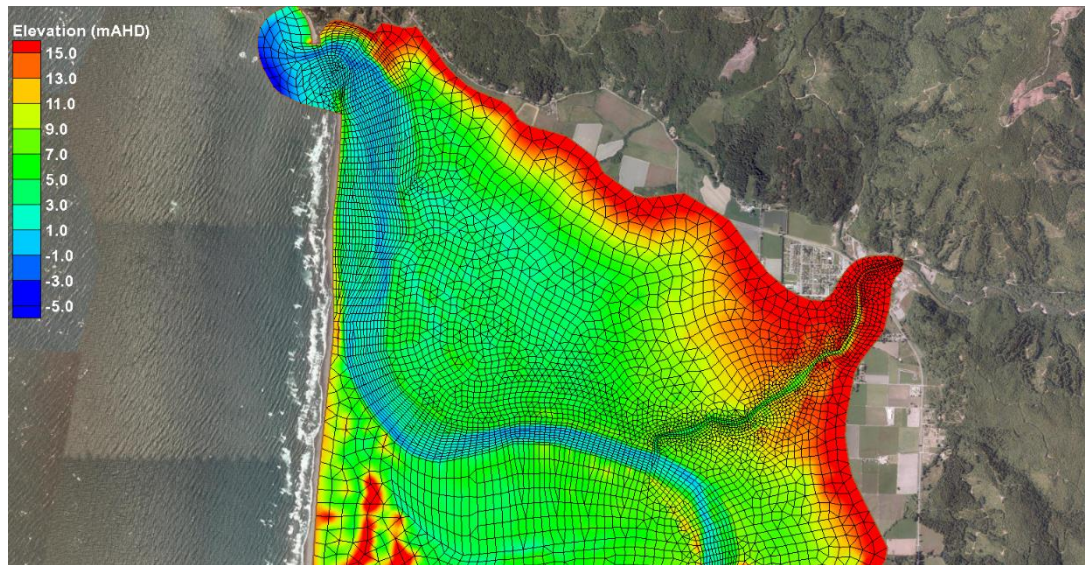


Numerické modely v hydrodynamice

Výhody a úskalí



Jaromír Říha

Spolupráce David Duchan

Ústav vodních staveb, FAST VUT v Brně

Obsah

1. Úvod

2. Postup při matematickém modelování

3. Dva typy úloh

Proudění v síti vodních toků

Proudění v hydrotechnických objektech

4. Typy modelů

Jednodimenzionální (1D)

Dvoudimenzionální (2D)

Trojdimenzionální - prostorové (3D)

Stacionární a nestacionární modely

5. Závěry a diskuse

Úvod, motivace

- Masové rozšíření výpočetní techniky
- Používání komerčního software (SW) - různé typy úloh
- Dokumentace SW
 - Teoretické a uživatelské manuály
 - Pre- a Post processing
- Použití programového vybavení
 - Podmínky použití, předpoklady pro řešení
 - Dobrá praktická znalost studovaného jevu
 - Kalibrace modelů, porovnání
- Mnohdy neadekvátní a ničím nepodpořené výsledky
- Nad výsledky není prováděna širší diskuze/oponentura
- Numerické modely nahrazují tradiční hydrodynamické modely (**ČSN 75 2340 – nad 60 m³/s**)

Obecný postup při modelování

- **Definice cílů** - **specifikace požadované přesnosti a typu modelu**
- **Podrobná analýza problému** - **poznání prototypu a jeho chování**
- **Koncepční model** - **využít zjednodušujících předpokladů x nezhodnotit věcnou přesnost výsledků.**
- **Matematický model** - **formulace pomocí matematického aparátu - rovnice, OP, PP:**
- **Numerický model** **využívá numerické metody implementované prostřednictvím vhodného algoritmu do počítačového prostředí.**
- **Validace algoritmu**
 - **ověření správnosti použitého numerického modelu**
 - **porovnáním výsledků řešení se známými řešeními**

Obecný postup při modelování

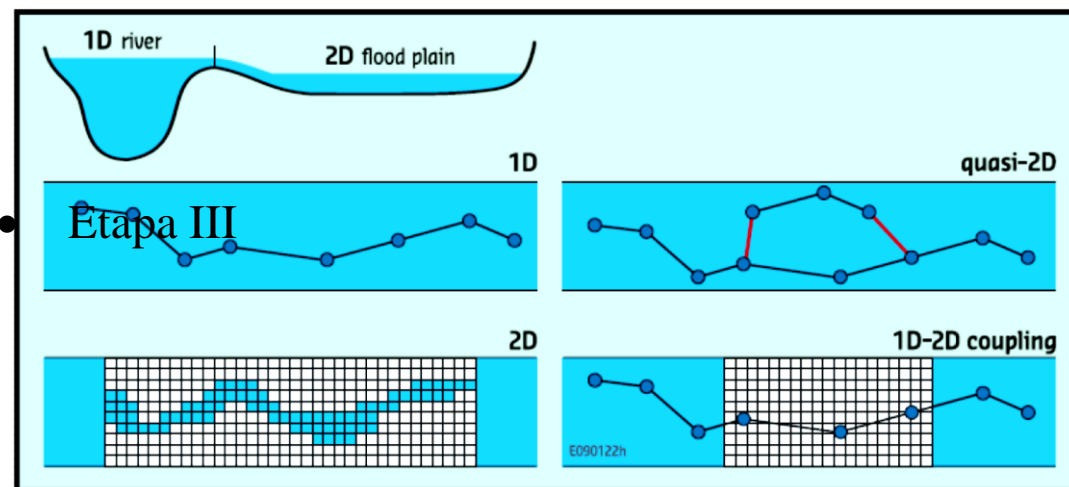
- **Kalibrace numerického modelu**
 - odvození parametrů modelu, OP, PP porovnáním výsledků s měřeními skutečných scénářů.
 - provádí se pro numerický model sestavený pro danou konfiguraci.
 - v případě dostatečného naměřených dat a více měřených epizod se doporučuje kalibraci rozšířit o **verifikaci** modelu.
- **Simulace variant - numerická stabilita řešení**
- **Interpretace výsledků řešení**
 - **nástroje pro grafické vyhodnocení výsledků řešení - tématické mapy, řezy, podélné profily, časové řady, animace, apod.**
 - **1. krok = předběžné kvalitativní a kvantitativní posouzení výsledků,**
 - směr vektorů rychlostí
 - spojitost proudu (hmotnostní kritérium)
 - fyzikálně nepřipustné jevy (energie roste po proudu)
 - nelogické oscilace
 - veličiny mají akceptovatelnou a představitelnou velikost, apod.

Modelování v síti vodních toků

Možné prostorové schematizace oblastí:

- 1D
- 1,5 D
- 2D
- 1D + 2D

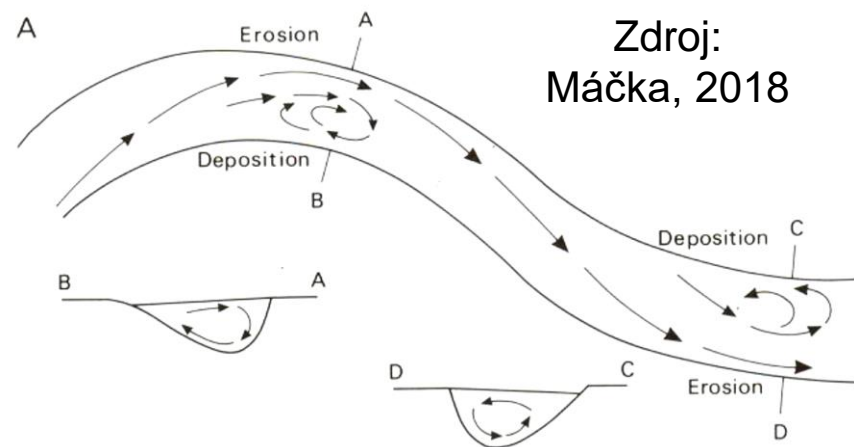
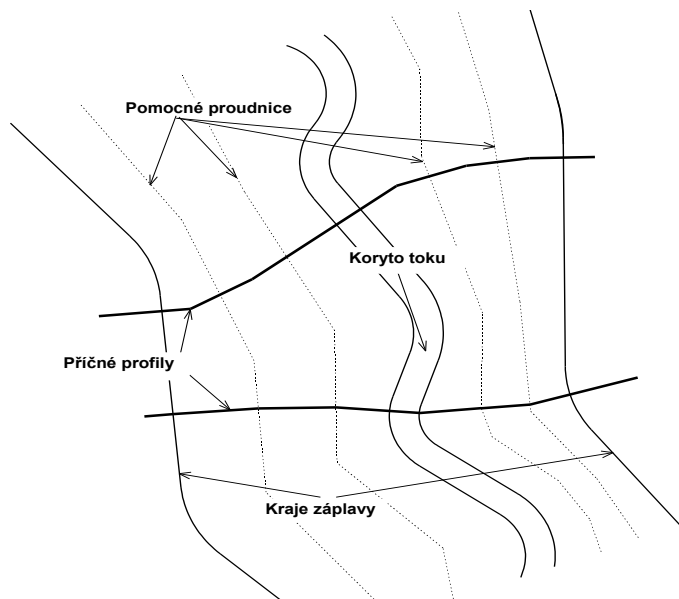
Zdroj: www.floodsite.net



- 3D – prakticky se nepoužívá

Modelování v síti vodních toků

- **Jednodimenzionální (1D) modely**
 - **Tradičně nepoužívanější pro hydrauliku koryt**
 - **Omezení / problémy:**
 - volba příčných profilů – zaměření, podrobnost
 - generelní směr proudění – 1D – sleduje osu koryta
 - problematické při dělení proudu
 - problematické v inundačním území (různé hloubky)
 - ztráty zahrnuty v součiniteli drsnosti, součinitelech kontrakce/expanze, Coriolisově čísle, hydraulice objektů

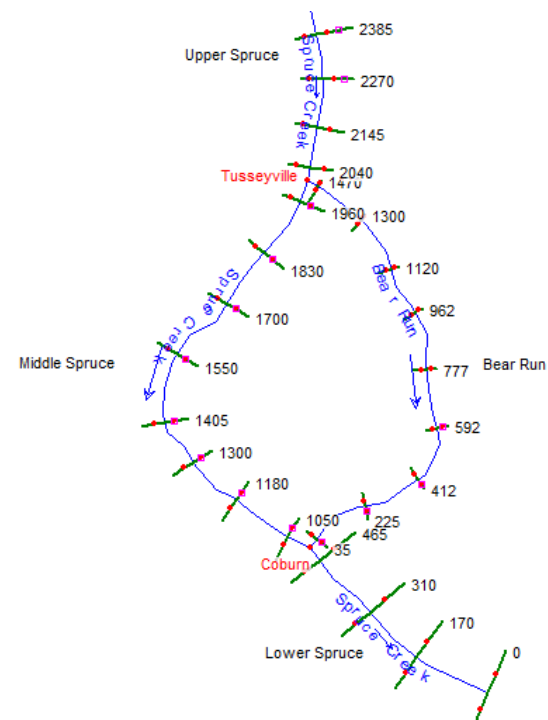
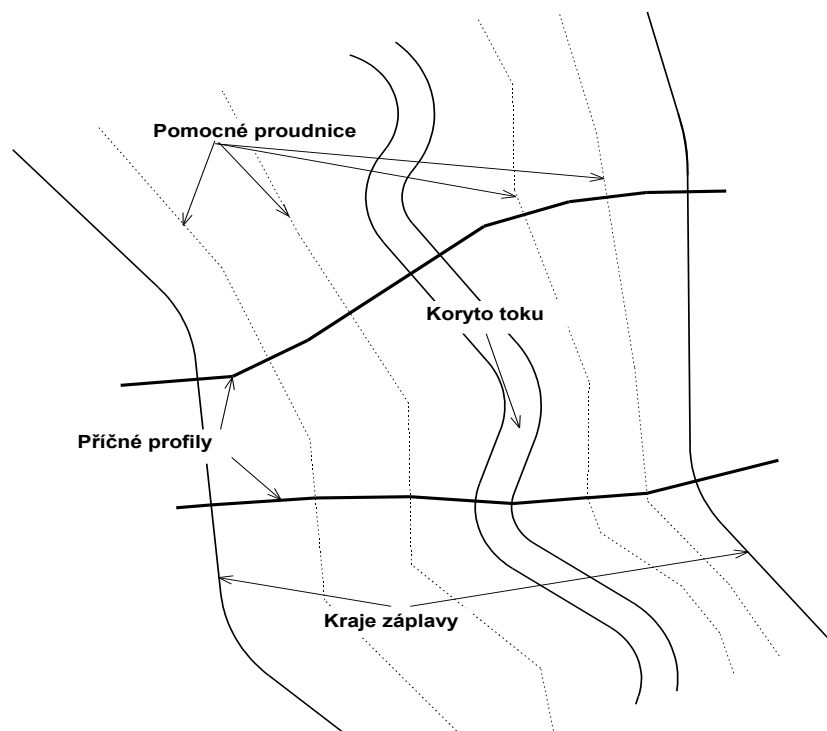


Modelování v síti vodních toků

- Jednodimenzionální (1,5D) modely větvené sítě

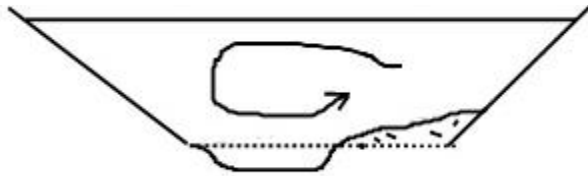
- **Alternativa pro proudění v inundačním území**

- nutná definice „koryt“
- nutná definice míst propojení s hlavním tokem
- pro různé průtoky se může měnit síť i směr proudění
- interpretace rozlivů ve zvolených příčných řezech



Modelování v síti vodních toků

- Dvoudimenzionální (2D) modely
 - **Vhodné pro řešení proudění v inundačním území**
 - **Nevhodné pro koryto toku:**
 - Aproximace proudění svislicovou rychlostí – neadekvátní

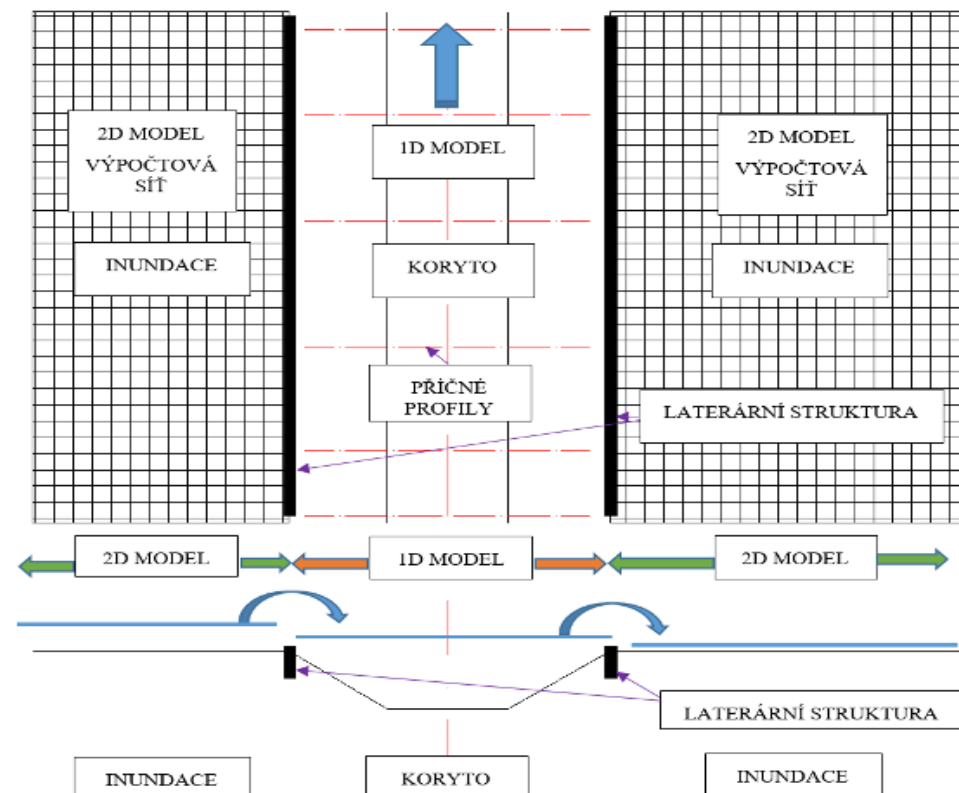


- Diskretizace koryta výpočetní sítí - nepřesnosti



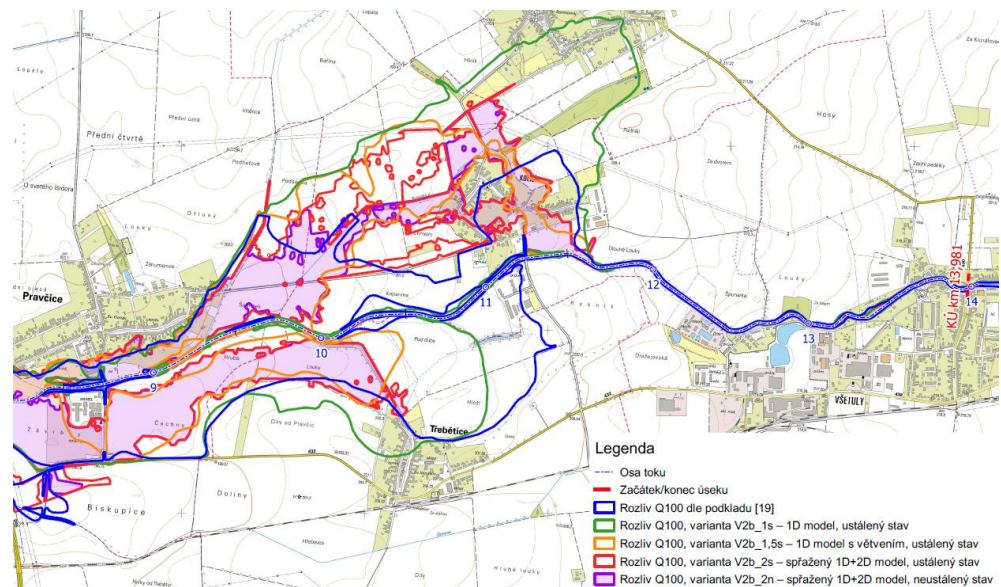
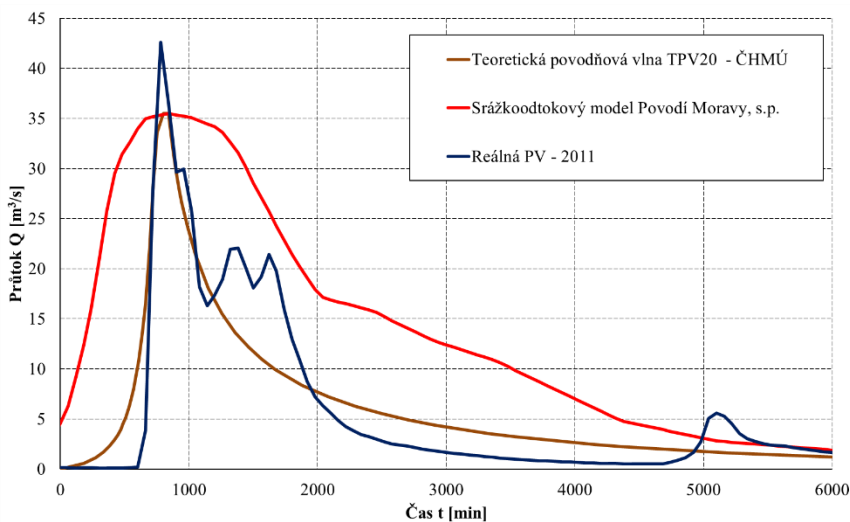
Modelování v síti vodních toků

- **1D + 2D modely**
 - **1D - koryto toku**
 - **2D – inundační území**
 - **Napojení – přechodové struktury**
 - **Problémy s konvergencí**



Stacionarita a nestacionarita

- Rozdíly ve výsledcích modely ustáleného a neustáleného proudění:
 - ochrana před povodněmi
 - rozdíl je dán tvarem povodňové vlny
- Model ustáleného proudění:
 - objem PV ve srovnání s obj. inundačního území malý - nereálně velký rozsah ZÚ
 - v řadě případů oprávněný – horní obálka objemů PV
- Model neustáleného proudění:
 - Nutná volba přiléhavého tvaru a objemu hydrogramu PV



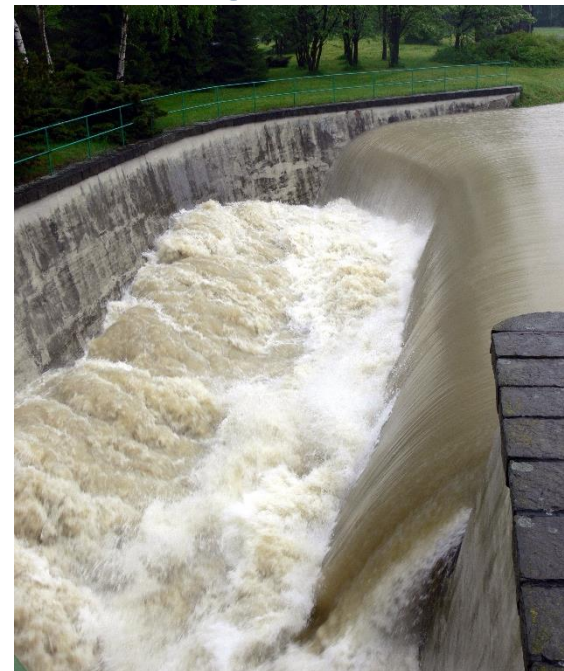
Modelování hydrotechnických objektů

Možné prostorové schematizace oblasti:

- **1D**
- **2Dh - horizontální**
- **2Dv - vertikální**
- **3D**

Modelování hydrotechnických objektů

- Přelivné, výpustné objekty
 - Složité hydraulické podmínky
 - Provzdušnění proudu
 - Ledové jevy



Modelování hydrotechnických objektů

- ČSN 75 2340 – Při návrhu skluzů s průtokem **větším než $60 \text{ m}^3/\text{s}$** a skluzů, u nichž jsou předpoklady pro vznik příčných nebo translačních vln, je třeba hydraulický výpočet ověřit **modelovým výzkumem**

- Otázky:

- Jde o návrhový či kontrolní průtok?
- Co se míní „modelovým výzkumem“?
- Jsou akceptovatelné numerické modely?



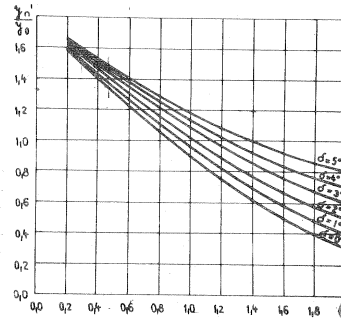
Modelování hydrotechnických objektů – 1D

- **Přelivné objekty**

- **Značná zjednodušení**
- **Výpočty vychází z experimentálních výzkumů**
- **Provzdušnění proudu – empirické vztahy**

- **Spadiště – postupně se měnící průtok**

- **Hinds, Favre, Komora, ...**

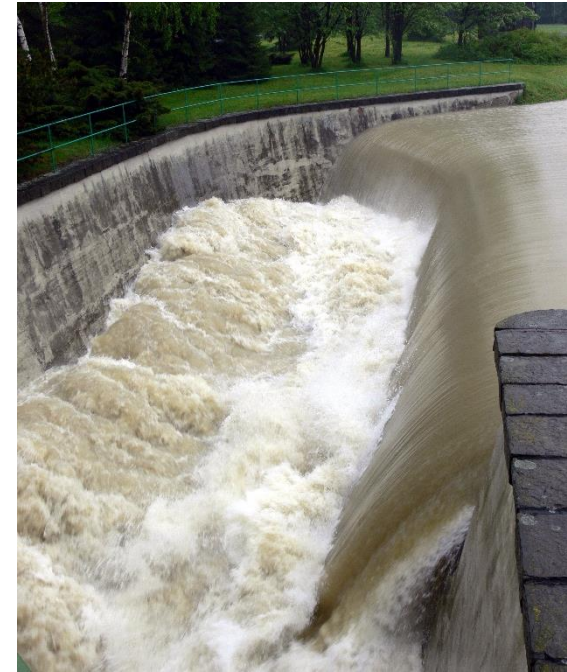


- **Skluz**

- **kvaziustálené proudění**
- **metoda po úsecích**
- **provzdušnění proudu – empirické vztahy – přiléhavost!**

- **Vývar**

- **Klasické řešení (prizmatický, divergentní) - empirické vztahy**



Modelování hydrotechnických objektů – 2Dh

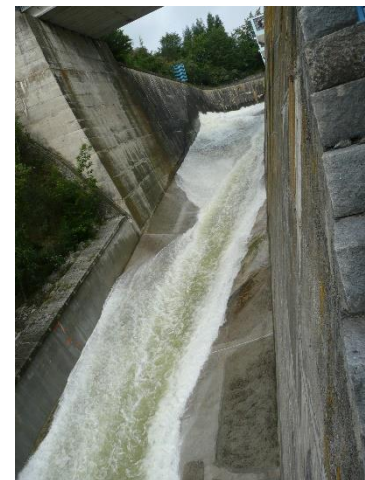
- **Přelivné objekty, spadiště**

- Obvykle neakceptovatelné
- Snad pro široká spadiště
- Nesplňuje předpoklady 2D



- **Skluz**

- Vychází z poměrů ve spadišti
- Změna režimu - bystrinný režim
- Provzdušnění proudu – empirické vztahy?



- **Vývar**

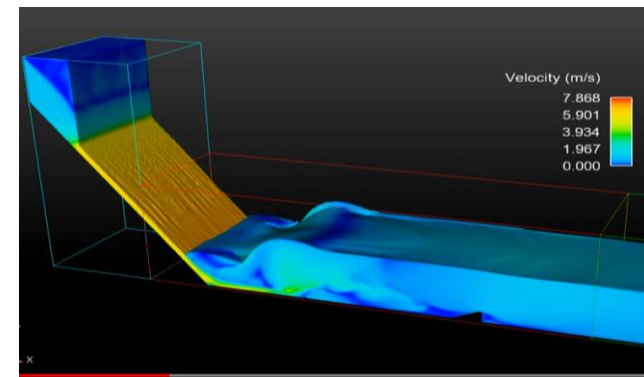
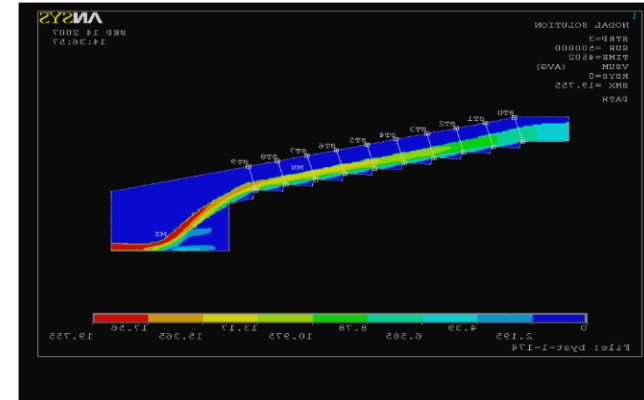
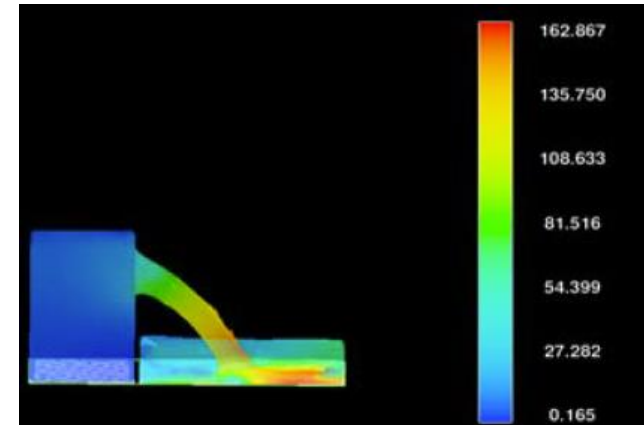
- Nesplňuje předpoklady 2D



- **Nedoporučuje se !**

Modelování hydrotechnických objektů – 2Dv

- **Předpoklady / problémy - ve směru kolmém na rovinu řešení**
 - **Zkoumané veličiny se nemění**
 - **Složky veličin (rychlost) jsou zanedbatelné**
 - **Není zohledněna turbulence**
 - **Provzdušnění proudu**
- **Přelivné objekty, spadiště**
 - **Čelní přelivy**
 - **Boční přeliv nesplňuje předpoklady 2Dv**
 - **Osová symetrie – šachtový přeliv**
- **Skluz**
 - **Omezené použití**
 - **Stupňovité skluzy**
- **Vývar**
 - **Symetrické konstrukce**
 - **Prizmatické konstrukce (obdélníkový vývar)**



Modelování hydrotechnických objektů – 3D

- Přelivné objekty, spadiště

- 3D = adekvátní
- Problematika úloh s volnou hladinou
- Provzdušnění proudu
- Zóny odtrhu paprsku - pulzace



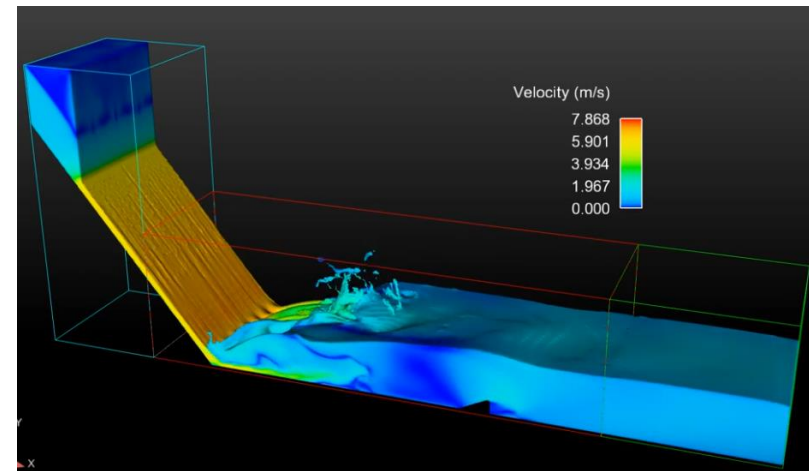
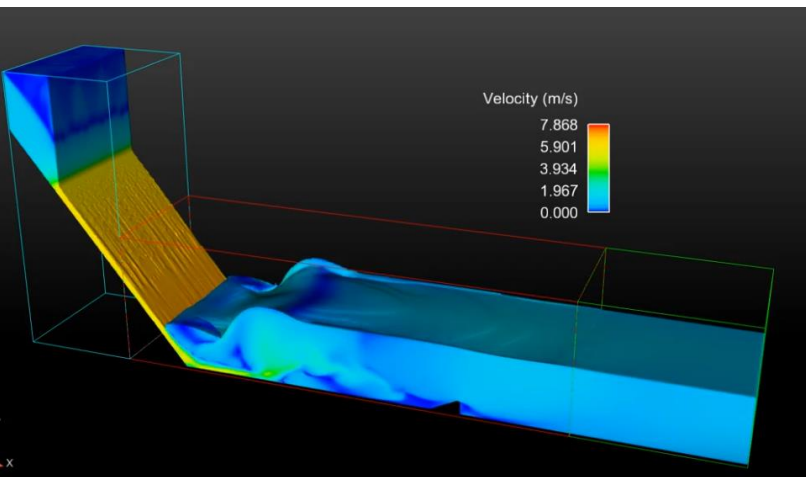
- Skluz

- V případě složitých tvarů (stupňovitý, ...)
- Provzdušnění, zóny odtrhu, ...



Modelování hydrotechnických objektů – 3D

- **Tlumení energie**
 - Často komplikované poměry
 - Problematika úloh s volnou hladinou
 - Provzdušnění proudu
 - Zóny odtrhu paprsku – pulzace
- **Stacionarita a nestacionarita**
 - přímá numerická simulace – časový a prostorový krok zachycují pulzace
 - časově zprůměrované veličiny (\bar{v} , \bar{p} , ...)
 - časový krok nad „zprůměrovanými“ veličinami



Závěry

- **Fyzikální laboratorní výzkum**
 - Tradiční postup, ověřené metody
 - Navrženy desítky hydrotechnických staveb
- **Numerické modelování**
 - Výhody:
 - rychlejší
 - levnější než fyzikální
 - možnost efektivně řešit varianty
 - Úskalí
 - nemusí poskytovat přesnější a výstižnější výsledky
 - nutná dobrá znalost teoretického aparátu
 - podcenění splnění předpokladů
 - interpretace výsledků – úskalí dokonalé grafiky

Diskuze, doporučení

- **Nedílnou součástí numerického modelu**
 - **kalibrace a verifikace**
 - **využití dat z prototypu, fyzikálního modelu**
- **Výsledky řešení konfrontovány s experimenty, realitou, s publikovanými daty (Amorim et al. 2015)**

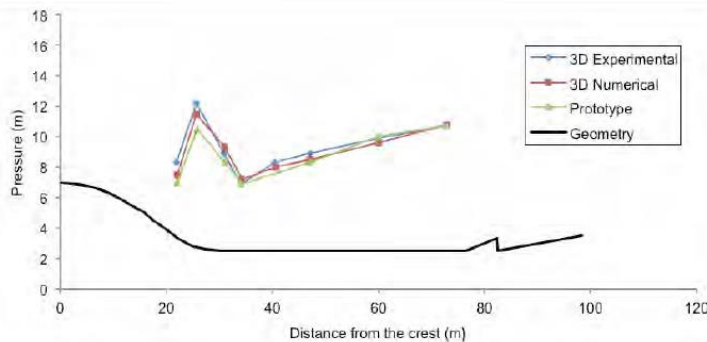


Figure 8. Pressure at the prototype and physical and numerical models - $Q = 4000 \text{ m}^3/\text{s}$

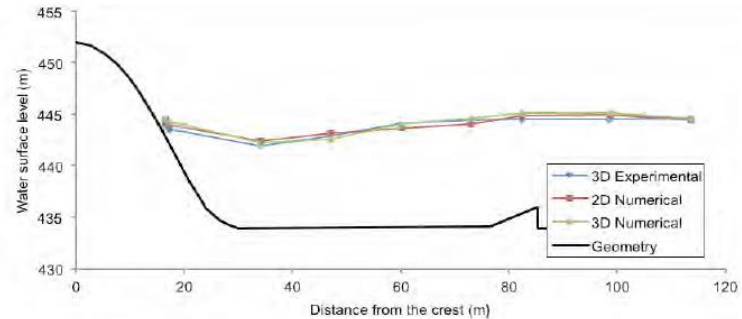
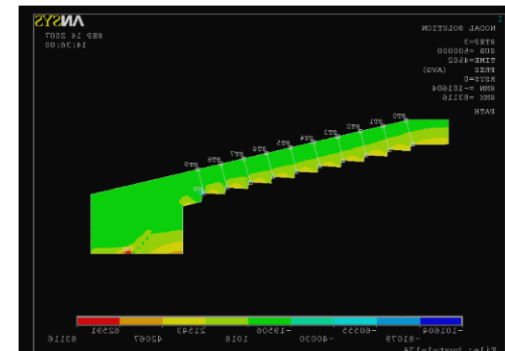
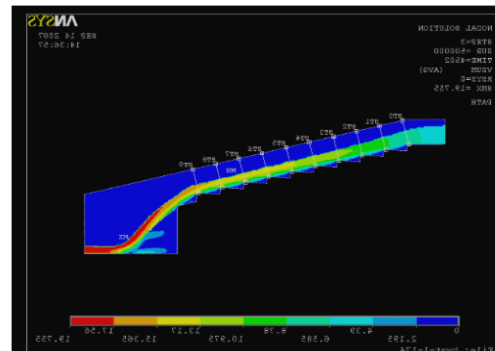


Figure 9. Water levels in the physical and numerical models - $Q = 4000 \text{ m}^3/\text{s}$

(Špano 2017)



Diskuze, doporučení

- **Součástí řešení - diskuze o nejistotách:**
 - ve vstupních předpokladech,
 - ve vstupních datech,
 - v samotném řešení,
 - a jejich kvantifikaci - odhad nejistot
- **Náměty:**
 - diskuze mezi pracovišti
 - vytvoření pracovní skupiny
 - zaměření diplomových a doktorských prací
 - zajištění dat o kalibraci a verifikaci modelů
 - vytvoření databáze (experimenty, prototyp)
 - spolupráce s vlastníky vodních děl



Děkuji za pozornost

