

**České vysoké učení technické v Praze**

**Fakulta stavební**

**Czech Technical University in Prague**

**Faculty of Civil Engineering**

Ing. Jana Valentová, CSc.

**Impact of urban development and flood control measures  
on flood flow conditions**

**Analýza vlivu zástavby a protipovodňových opatření  
na odtokové poměry**

## Summary

In connection with the extreme flooding that had affected many European countries in the past decades and caused considerable damage, the attention of specialists focuses on efficient flood prevention and protection of property and human lives during these events. Natural flood mitigation effects of floodplains consisting mainly in the ability of flood wave transformation were suppressed in the past as a consequence of various human activities - particularly the building of settlements, transport structures but also the intense agricultural exploitation. Planning and decision-making processes in the development of these areas must take into account the possible occurrence of extreme flood events and avoid the deterioration of the flood flow conditions.

Quantitative analysis of flow conditions during the passage of flood can be carried out using methods of numerical modeling of water flow in the channel and adjacent inundation area. Flood modeling is based on numerical solution of the governing equations describing the water flow in open channels. With respect to considerable complications of numerical modeling of the three-dimensional unsteady turbulent flow in large complex geometries, appropriate simplifications have to be applied in real cases – steady or quasi-steady flow, 1D or 1,5D schematizations, etc. One-dimensional models so far have been largely applied in the practice; however, their application in geometrically complicated urban areas can be problematic.

The present level of computer technology and the availability of detailed geometrical data obtained by modern geodetic methods allow the application of two-dimensional numerical models providing sufficiently accurate information about flood flow pattern in domains with complex geometries. The aim of a numerical model application is to perform quantitative analyses of the impact of existing structures or other elements affecting the flood flow, and/or an assessment of the effects of the newly proposed constructions or measures on the flood situations in the area of interest. Detailed analysis of various alternative variants may be an optimizing tool for the selection of the most effective design fulfilling all particular requirements. In the lecture, the theoretical basis and an overview of numerical hydraulic models is given. Principles of two-dimensional numerical model application are described, requirements on input data are discussed and selected results analyzing the impact of various types of structures on the flood routing are presented.

## Souhrn

V souvislosti s extrémními povodněmi, které postihly v minulých desetiletích velkou část Evropy a způsobily značné škody, je zapotřebí věnovat pozornost návrhu efektivní ochrany majetku i lidských životů při těchto událostech. Přírozené funkce vodních toků a jejich inundačních území spočívající v transformaci povodňových vln byly v minulosti potlačeny antropogenní činností – zejména budováním sídel, dopravních a jiných staveb ale i intenzivním hospodářským využíváním. Plánovací a rozhodovací procesy při rozvoji těchto území musejí brát v úvahu možný výskyt extrémních povodňových událostí a zajistit, aby při nich nedocházelo ke zhoršení podmínek průchodu povodňové vlny. Kvantitativní analýzu průtokových poměrů při průchodu povodně je možné provést za pomoci metody numerického modelování proudění vody v korytě a přilehlém inundačním území. Numerické modelování je založeno na řešení řídicích rovnic popisujících proudění vody v otevřených korytech. Vzhledem k tomu, že řešení těchto rovnic je pro reálné případy prostorového neustáleného turbulentního proudění vody velmi komplikované, přistupuje se k zavádění různých zjednodušení – např. řešení ustáleného proudění namísto neustáleného, použití 1D případně 1,5D schematizace proudění apod. Doposud byly v praxi nejvíce uplatňovány jednorozměrné modely, jejichž aplikace ve složitých podmínkách urbanizovaného území může být problematická. Současná úroveň výpočetní techniky a dostupnost podrobných geometrických dat získaných moderními geodetickými metodami umožňuje aplikaci dvourozměrných numerických modelů, které poskytují dostatečně výstižný popis proudových poměrů při průchodu povodní v území se složitou geometrií. Cílem aplikace numerického modelu je kvantitativní hodnocení vlivu již existující zástavby či jiných prvků ovlivňujících průtok vody územím na proudové poměry anebo posouzení nově navrhovaných staveb či opatření v řešeném území. Analýza výsledků pro různá alternativní řešení nové stavby může přispět k výběru nejefektivnější varianty splňující nejlépe všechny požadavky. V přednášce je uveden teoretický základ numerických hydraulických modelů a je uveden jejich přehled. Jsou prezentovány principy aplikace dvourozměrného numerického modelu, jsou popsána požadovaná vstupní data a uvedeny ukázky vyhodnocení výsledků modelování pro analýzu dopadu různých druhů staveb na průchod povodně.

**Klíčová slova:**

numerické modelování, protipovodňová opatření, proudění při povodních, antropogenní vlivy, inundační území

**Key words:**

numerical modeling, flood control measures, flood flow, anthropogenic impacts, floodplain

## Obsah

SUMMARY .....	2
SOUHRN .....	3
KLÍČOVÁ SLOVA.....	4
KEY WORDS.....	4
OBSAH .....	5
1. Úvod.....	6
2. Numerické hydraulické modely .....	7
3. Datové požadavky pro aplikaci numerických modelů.....	10
4. Koncepce numerického modelu v zastavěných územích .....	12
5. Výstupy modelového řešení a jejich interpretace .....	13
6. Vliv dopravních staveb na proudové poměry .....	14
7. Vliv zástavby a PPO na průchod povodňové vlny .....	18
7.1. Analýza vlivu PPO při ustáleném proudění .....	19
7.2. Analýza vlivu PPO na dynamiku povodně.....	21
8. Závěr .....	22
Literatura .....	23
Životopis.....	24

## 1. Úvod

Povodňové události, které se vyskytly v minulých desetiletích, vyvolaly potřebu zkoumat detailně podmínky průchodu povodňových vln v záplavových územích toků s cílem navrhnout efektivní ochranu majetku a obyvatelstva a současně umožnit další rozvoj území. V rámci návrhu protipovodňových opatření je v posledních letech zdůrazňována potřeba komplexního přístupu, spočívajícího jednak v opatřeních technického typu a jednak v přírodě blízkých opatřeních, které mají posílit přirozené funkce vodních toků a jejich údolních niv. Tyto přirozené funkce spočívající zejména ve schopnosti transformace povodňových vln rozlivem do širokého plochého území byly v minulosti potlačeny antropogenní činností – budováním sídel, dopravních staveb ale i intenzivním hospodářským využíváním. Z hlediska omezení rozlivů vody v nivě je nejvíce nepříznivá soustředěná zástavba, ve které při povodních současně dochází k největším škodám. Zástavba v inundačních územích představuje překážky pro proudění vody, způsobuje vzduť hladiny a koncentraci proudící vody do úzkého prostoru. Zde při zvýšených rychlostech může docházet k erozi terénu a devastaci existujících objektů. Po zkušenostech s ničivými povodněmi v posledních desetiletích je uplatňována snaha ochránit existující objekty pomocí protipovodňových opatření a současně nepovolovat v inundačních územích (v aktivní zóně) další stavby, které by ovlivňovaly nepříznivě průchod povodní.

Mezi stavby, které z inundačních území nelze zcela vyloučit, patří dopravní stavby – železnice či silnice, které samozřejmě ovlivňují proudové poměry svými násypy a mostními objekty. Při budování nových staveb je zapotřebí navrhnout takové uspořádání stavby, které neovlivní nepříznivě průchod povodňových průtoků. V některých případech, kdy vzduť hladiny způsobené tělesem dopravní stavby nedosáhne k území, jež je třeba před záplavou chránit, může stavba posloužit i příznivě k dočasnému zadržení vody v krajině a ke ztlumení povodňové vlny.

Podmínky průchodu povodně zastavěným inundačním územím jsou velmi složité a jejich znalost je mimořádně důležitá pro zhodnocení současného stavu zájmového území, identifikaci problematických míst, a následně pro správný návrh protipovodňových opatření, budování nových staveb, pro přípravu povodňových plánů a pro plánování dalšího rozvoje území. Průtokové poměry v území při povodňové situaci je možné zkoumat buďto v terénu při skutečné povodňové události nebo na fyzikálním hydraulickém modelu v laboratoři. Další možností je využití metody numerického modelování, která je založena na numerickém řešení matematických rovnic

popisujících procesy probíhající při povodni. Výhodou numerického modelování je možnost analýzy proudových poměrů jak pro v minulosti již proběhlé události, tak i pro teoretické scénáře lišící se charakteristikami povodňové vlny, změnami geometrie proudové oblasti apod. V modelu je možné zohlednit plánované stavby a predikovat tak jejich vliv na proudové poměry. Metoda numerického modelování vycházející z numerického řešení rovnic popisujících proudění vody v otevřených korytech a přilehlých inundačních územích se ukázala být efektivním nástrojem umožňujícím kvantitativní vyhodnocení podmínek proudění vody v řešené oblasti.

## 2. Numerické hydraulické modely

Základem numerických hydraulických modelů je řešení řídicích parciálních diferenciálních rovnic popisujících proces pohybu vody v korytě a inundaci. Třírozměrné proudění skutečné kapaliny s vnitřním třením je popsáno Navier-Stokesovými rovnicemi, které je možné napsat např. ve tvaru (Hervouet a Van Haren, 1996):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho U_i)}{\partial x_i} = 0,$$

$$\frac{\partial(\rho U_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho U_i U_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i + \rho f_i; \quad i, j = 1, 2, 3,$$

kde  $x_i$  je označení pro prostorové souřadnice,  $U_i$  jsou složky rychlosti,  $\rho$  je hustota vody,  $P$  je tlak,  $f_i$  představuje složky objemových sil jiných než gravitačních a tlakových (např. Coriolisova síla),  $g_i$  jsou složky gravitační síly,  $\tau_{ij}$  je tenzor tečných napětí. První rovnice je rovnice kontinuity vyjadřující zákon zachování hmoty, druhá rovnice zastupuje tři pohybové rovnice ve třech směrech kartézského souřadného systému, které vyjadřují zákon zachování hybnosti.

Navier-Stokesovy rovnice se nedají v případě turbulentního proudění řešit přímo vzhledem k tomu, že popisují okamžité (pulzující) hodnoty veličin, jejichž popis vyžaduje extrémně podrobné rozlišení jak v prostoru, tak v čase. Praktická aplikace numerického modelu vycházejícího z řešení těchto rovnic tedy není v současné době možná. Dalším problémem při řešení 3D Navier-Stokesových rovnic je existence volné hladiny, která způsobuje, že modelovaná oblast se v čase mění. Vzhledem k těmto těžkostem numerického řešení se zavádějí některá zjednodušení, např. přechod k tzv. „shallow water equations“, ve kterých se zavádějí průměrné svislicové rychlosti vzniklé průměrováním skutečné rychlosti přes hloubku vody. Další zjednodušení je zahrnuto v rovnicích Reynoldsových, kde se

namísto okamžitých rychlostí uvažují rychlosti vyhlazené (průměrované) v čase. Numerické modely založené na řešení řídicích rovnic proudění vody v korytech pomocí numerických metod se liší v mnoha aspektech. Z hlediska použití modelů pro řešení inženýrských úloh jsou nejvýznamnější rozdíly ve tvaru výchozích řídicích rovnic a míře a způsobu jejich zjednodušení a v použité numerické metodě. V neposlední řadě je důležitá dostupnost modelů a jejich napojení na software umožňující zpracovat velké množství vstupních dat a software pro vyhodnocení číselných výstupů do grafické podoby, která je názorná a dobře srozumitelná. V současné době jsou k dispozici programové produkty, které jsou dostupné buďto volně anebo za úplaty.

Numerické modely používané pro simulaci proudění vody v korytech a inundačních územích je možné členit např. podle použité prostorové schematizace na modely jednorozměrné (1D), pseudodvourozměrné (1,5D), dvourozměrné (2D), kvazitřírozměrné (2,5D) a třírozměrné (3D). Dalším kritériem pro třídění modelů může být použitá numerická metoda, která slouží k řešení řídicích parciálních diferenciálních rovnic. Nejčastěji používanými metodami jsou metoda sítí, metoda konečných objemů a metoda konečných prvků.

Pro řešení úloh ustáleného i neustáleného proudění se v praxi nejvíce používají modely jednorozměrné, ve kterých je oblast proudění aproximována řadou příčných profilů. Základním předpokladem aplikace tohoto typu modelu je jednoduchý tvar řešené oblasti s převládajícím jednorozměrným charakterem proudění se směrem proudění ve směru osy toku. Modely je možné použít i pro řešení systému toků zavedením větvebného či okružového systému (1,5 modely) v případě, že proudění je jasně predestinováno geometrií území – např. koryto, inundace, uliční síť v intravilánu. Aproximace proudění jednorozměrným modelem není oprávněná, jestliže se v oblasti vyskytují překážky (násypy silnic, budovy), které výrazně ovlivňují směry proudění anebo v případech, kdy tvar inundačního území umožňuje vznik oddělených inundačních proudů, které je obtížné předem rozpoznat z běžně dostupných dat. Také v případě silně meandrujícího koryta a obzvláště v případě, kdy vlnitost koryta je větší než vlnitost inundace je 1D přístup nevhodný (Knight a Shiono, 1996).

Jednorozměrné modely se v dnešní době běžně používají pro řešení vodohospodářské problematiky spojené s prouděním vody v korytech - protipovodňová ochrana (návrh záplavových území a aktivních zón, návrh protipovodňových opatření), návrhy hydrotechnických staveb, řízení jezů apod. Vzhledem k rychlosti 1D modelů je důležitou oblastí jejich aplikace operativní řízení a předpovědní modelování. Výsledkem řešení



jednorozměrného modelu jsou hodnoty hledaných veličin (poloha hladiny, rychlost) v zadaných příčných profilech. Jednorozměrné modely díky své schematizaci nemají příliš velké nároky na data a také výpočetní čas je přijatelně dlouhý. V naší praxi se nejčastěji používají modely HYDROCHECK firmy Hydrossoft Veleslavín ([www.hydrossoft.eu](http://www.hydrossoft.eu)), model MIKE11 (DHI a.s, [www.mikebydhi.com](http://www.mikebydhi.com)) a volně dostupný model HEC-RAS (USACE, 2001).

V posledních deseti letech se pro řešení praktických vodohospodářských úloh zejména v oblasti protipovodňové ochrany více využívají modely dvourozměrné. Je to způsobeno jednak rozvojem výpočetní techniky, která již umožňuje řešit úlohy s miliony neznámých veličin a jednak dostupností podrobných topografických dat získaných moderními metodami leteckého měřičského snímání, laserscaningu a metodami dálkového průzkumu Země. Zásadním rozdílem dvourozměrného modelu oproti modelu jednorozměrnému je to, že oblast proudění je popsána pomocí trojrozměrného digitálního modelu terénu, který umožňuje zohlednit složitý tvar koryta i inundačního území včetně všech překážek pro proudění vody. Výsledkem dvourozměrného modelu jsou hodnoty hledaných veličin (hladina, rychlosti) v uzlech výpočetní sítě nebo dokonce v případě metody konečných prvků v libovolném místě řešené oblasti.

Přesnost reprezentace terénu ve výpočetním numerickém modelu záleží jednak na přesnosti výchozích dat a jednak na hustotě a podrobnosti výpočetní sítě. Struktura výpočetní sítě závisí na použité numerické metodě. V případě diskretizace řídicích rovnic pomocí metody sítí je modelovaná oblast nahrazena obdélníkovou sítí (Abbott, 1979), případně křivočarou ortogonální anebo obecnou sítí (Kim et al., 2003). Metoda sítí je nejjednodušší z diskretizačních metod, její výhody spočívají zejména v její srozumitelnosti a v rychlém řešení soustavy rovnic. Metodu sítí využívá např. komerční model TUFLOW ([www.tufLOW.com](http://www.tufLOW.com)).

Křivočará síť se také používá u modelů založených na metodě konečných objemů. Tato metoda je přechodem mezi metodou sítí a metodou konečných prvků; soustava algebraických rovnic, které vzniknou aplikací metody, je poměrně dobře řešitelná, oproti metodě konečných prvků je podstatně jednodušší. Výpočetní síť může být neekvidistantní, což umožňuje lokální zahuštění např. v zastavěných oblastech. Metoda konečných objemů je základem programu FAST 2D (Valenta 2004), který byl u nás mnohokrát použit pro simulaci proudění vody v korytech a inundačních územích. Příkladem komerčního software využívajícího metodu konečných objemů je Mike 21 v nejnovější verzi Flexible Mesh ([www.mikebydhi.com](http://www.mikebydhi.com)).

Nejpřesnější vystižení složité trasy koryta, nepravidelností hranic, terénu a různě velkých překážek pro proudění vody umožňuje nepravidelná síť, která se používá při diskretizaci řídicích diferenciálních rovnic pomocí metody konečných prvků. Vlastní numerická metoda je podstatně složitější než metoda sítí a metoda konečných objemů a vede ke složitějším soustavám rovnic, jejichž řešení je spojeno s většími nároky na výpočetní techniku. Výpočetní síť nemusí mít žádnou předepsanou strukturu, může být libovolně lokálně zahuštěna, většinou bývá tvořena trojúhelníkovými a čtyřúhelníkovými prvky. Z modelů publikovaných ve světě je možné uvést např. komerční modely TELEMAC-2D (Hervouet a Van Haren, 1996), FESWMS (Froehlich, 1989, <http://water.usgs.gov/>), které jsou často používány pro simulaci proudění vody v korytech a inundačních územích. Metoda konečných prvků je také použita v modelu DIFEM 2D (Valentová, Valenta 2011), jehož aplikace pro neustálené proudění je uvedena dále.

V posledním desetiletí se uplatňují modely kombinující jednorozměrné a dvourozměrné modely, které využívají výhody obou přístupů (např. Bates a De Roo, 2000). Jednorozměrné řešení se použije pro koryto anebo síť koryt a dvourozměrné pro inundace, přitom vzájemné interakce jsou zajištěny pomocí vazeb definovaných na rozhraní modelů, které je predestinováno břehovými hranami koryta.

Použití prostorových modelů je v oblasti říční hydrauliky v současné době stále omezeno spíše na řešení lokálních problémů - pro úseky toku do délky jednoho kilometru (Hunter et al., 2007).

Z uvedeného přehledu používaných modelů je zřejmé, že pro účely detailního hodnocení vlivu staveb na proudové poměry v oblastech se složitou geometrií je nejvhodnějším prostředkem dvourozměrný model.

### **3. Datové požadavky pro aplikaci numerických modelů**

Kompletní sestavu vstupních podkladů, které jsou nutné pro simulaci proudění vody pomocí numerického modelu v zájmové oblasti, je možné rozčlenit do následujících skupin:

- data popisující geometrii daného území (mapové a geodetické podklady, ortofotomapy),
- data popisující charakter povrchu (letecké snímky, podrobná rekognoskace území),
- hydrologická data,
- hydrotechnické podklady,
- kalibrační podklady,
- další podklady.

Veškeré výše uvedené podklady jsou nutné pro sestavení modelu proudění vody, přitom nezáleží na tom, zda bude pro modelování použit model jednorozměrný či dvourozměrný, model pro ustálené nebo neustálené proudění. V dalším textu jsou blíže specifikovány podklady se zaměřením na aplikaci dvourozměrných modelů.

Topografická data pro dvourozměrné modely jsou většinou k dispozici ve formě podrobného digitálního modelu terénu, který je získán pomocí fotogrammetrických metod anebo metod laserové či radarové altimetrie. Digitální model terénu pořízený metodou letecké fotogrammetrie má obvykle formu rastru 3D bodů (s krokem 10 až 25 m), který je doplněn 3D liniemi charakterizujícími terénní hrany. Při použití technologie laserového skenování je DMT tvořen velice hustým mračnem 3D bodů. Model koryta toku případně dalších vodotečí je začleněn do DMT inundačního území na základě pozemního geodetického zaměření anebo na základě podrobné batymetrie získané pomocí speciální měřicí techniky (měřicí loď Valentýna).

Pro definování drsností povrchu v inundačním území jsou ideálním podkladem letecké fotografie, na základě kterých je možné ve spojení s podrobným terénním průzkumem řešené oblasti rozlišit podoblasti charakteristické druhem vegetace, případně způsobem využití území. Těmto podoblastem je pro výpočet přidělena určitá hodnota součinitele drsnosti.

V urbanizovaném území je třeba také zohlednit lokální překážky pro proudění vody, jako jsou zidky, ploty – průtočné či neprůtočné – ty je většinou zapotřebí identifikovat při terénní rekognoscaci.

Hydrologické podklady slouží k definování průtokových stavů, které se budou pomocí modelu simulovat. Při řešení praktických úloh se většinou vychází z průtoků dané N-letosti. V případě řešení problému na základě simulace ustáleného proudění jsou hydrologická data specifikována v daném profilu jednou sadou hodnot. V případě, kdy se daná problematika řeší pomocí nestacionárního modelu, musí být k dispozici časové průběhy (hydrogramy) povodňových vln.

Podklady hydrotechnické zahrnují veškerou dokumentaci týkající se objektů na vodním toku. Především jsou to manipulační řády pohyblivých jezů a pohyblivých uzávěrů vybudovaných v hrázích rybníků pro bezpečné převedení povodňových průtoků. Kromě údajů o vodních dílech je zapotřebí získat informace i o dalších objektech na toku, jako jsou mosty, lávky apod.

Kalibrační podklady poskytují informace o povodňových situacích proběhlých v minulosti. Kalibrační podklady zahrnují čáru maximálního

rozlivu, soubor povodňových značek a hodnotu kulminačního průtoku, případně časový průběh povodňové vlny.

Kromě výše uvedených dat jsou zapotřebí další podklady, týkající se účelu vytvářeného modelu – např. projektová dokumentace stavby, která má být výpočtem posuzována.

#### **4. Koncepte numerického modelu v zastavěných územích**

Sestavení dvourozměrného numerického modelu proudění vody v zájmovém území zahrnuje návrh koncepce modelového řešení (řešení ustáleného či neustáleného proudění, volba dimenzionality modelu apod.), určení rozsahu modelované oblasti, návrh výpočetní sítě, tvorbu digitálního modelu terénu a jeho převedení na výpočetní síť, definici parametrů drsnosti a neprůtočných překážek a specifikaci okrajových podmínek.

Aplikace numerického modelu v zastavěných územích má svá specifika spočívající především v mimořádné členitosti terénu s množstvím různých překážek. Účinky těchto překážek na proudění závisí na jejich charakteru, kdy překážky buďto představují neprůtočné bloky, případně jsou zčásti průtočné či přelévané. V řešené oblasti zpravidla nelze identifikovat pravidelnou geometrickou strukturu, která by opravňovala aplikaci jednodušších 1D anebo 1,5D modelů. Charakter povrchu modelovaného území je také velmi různorodý (silnice, zahrady, parky, vodní plochy, skladové plochy atd.). Uvedená specifika vedou k nutnosti aplikovat pro detailnější studie dvourozměrné modely, které musejí splňovat dva protikladné požadavky - mimořádnou podrobnost modelu při jeho relativně značných půdorysných rozměrech. Za přiměřenou velikost výpočetní buňky pro dostatečné rozlišení modelu lze považovat rozměr 1x1 až 3x3 m, což pro reálné rozsahy modelovaných oblastí (jednotky km<sup>2</sup>) představuje výpočetní síť s několika miliony výpočetních buněk. Současně s ohledem na charakter území je zapotřebí preferovat modely využívající nestrukturovanou či alespoň křivočarou výpočetní síť, což dále zvyšuje nároky na použitý hardware.

Výše uvedená specifika vedou k poměrně dlouhým výpočetním časům, a proto se současný způsob řešení praktických úloh omezuje spíše na stacionární a kvazistacionární stavy proudění. Tato koncepce řešení může poskytnout odpovědi na otázky týkající se vlivu zástavby a případných protipovodňových opatření přímo v řešené lokalitě (zvýšení polohy hladiny, koncentrace proudu a nárůst rychlostí), včetně ovlivnění výše ležících oblastí zpětným vzduším hladiny.

V souvislosti s navrhováním protipovodňových opatření spočívajících především v realizaci protipovodňových hrází a bariér vyvstává otázka, zda a do jaké míry může docházet k negativním vlivům v území ležícím níže po proudu (urychlení postupu povodňové vlny, zvýšení kulminačního průtoku) v důsledku omezení retenčního účinku území. Tento problém je možné analyzovat pouze při aplikaci modelu nestacionárního. To dále značně zvyšuje nároky na numerické řešení a to jednak z hlediska celkové doby simulace, a současně z hlediska nároků na stabilitu modelu. Příčinou stabilitních problémů je především střídavé zatápění a obnažování zaplavovaného povrchu, které musí být modelem uspokojivě řešeno. Zejména při řešení širokých a plochých území je tento problém často velmi výrazný. Proto se při řešení nestacionárního proudění někdy používají zjednodušení výchozích řídicích rovnic, která spočívají v zanedbání některých členů, které vyjadřují vliv jevů méně podstatných pro řešení dané problematiky. Jedním z možných přístupů k řešení postupu povodňové vlny v korytě a údolní nivě je zanedbání vlivu setrvačnosti – proudění je v tomto případě aproximováno tzv. difúzní vlnou. Podle odborné literatury jsou difúzní modely schopné správně postihnout vliv zpětného vzduť a dostatečně je také vystižen proces transformace vlny, kdy dochází jak ke snížení kulminace, tak k jejímu časovému oddálení. Modely tohoto typu poskytují uspokojivé výsledky v případech, kdy jsou vlivy setrvačnosti proudící vody zanedbatelné ve srovnání s dominantními jevy, jakými jsou tvar terénu (dna), gravitační síly a odpory proti proudění (Hromadka et al., 1992).

## **5. Výstupy modelového řešení a jejich interpretace**

Výstupy numerického řešení jsou hodnoty polohy hladiny a složek rychlostí v každém uzlu výpočetní sítě. Tyto výsledky je zapotřebí následně zpracovat pomocí grafických postprocesů pro jejich názornou prezentaci. Při využití dosažených výsledků je třeba mít na mysli, že každý model představuje jistou aproximaci reality, která je dána stupněm zjednodušení použitých výchozích rovnic, použitou výpočetní sítí, použitou numerickou metodou, přesností vstupních dat atd. Z toho vyplývají nejistoty ohledně přesnosti získaných veličin. Tyto nejistoty je možné do určité míry eliminovat použitím správné koncepce řešení a použitím co nejpřesnějších vstupních podkladů.

V průběhu povodňových situací navíc dochází k různým náhodným jevům, které je někdy obtížné předpovědět a není možné je v modelu zohlednit. Jedná se např. o vznik zátarasů a jejich následné protržení, protržení hrází, chod spláví, zneprůtočnění mostních objektů apod. Podmínky průchodu povodňové vlny závisejí také na sezónních vlivech, jako jsou současný stav

vegetace, chod ledů. V urbanizovaných územích se vyskytují překážky, jejichž dopady na podmínky proudění jsou těžko definovatelné. Jde například o různé ploty, které mohou v některých případech představovat neprůtočné překážky, jindy mohou umožňovat určitý průtok vody anebo mohou být překážkou dočasnou – po dosažení určité polohy hladiny může dojít k jejich povalení.

Některé z výše uvedených nejistot je možné eliminovat kalibrací numerického modelu pomocí údajů o pozorovaných povodních v zájmovém území. Věrohodnost výsledků získaných pomocí numerických modelů je velmi závislá na kalibračních datech a při existenci kvalitních kalibračních dat lze očekávat i dostatečně přesné výstupy modelového řešení (Hunter et al., 2007). Předmětem kalibrace modelu je adjustace volitelných parametrů numerického modelu (především drsností) tak, aby kalibrovaný model byl schopen poskytovat co nejméně a realitě odpovídající výsledky.

Všechny výše uvedené jevy ovlivňující přesnost výsledků numerického řešení je třeba vzít v úvahu při interpretaci výsledků numerického modelování a uživatel výstupů by s nimi měl být seznámen. Při využití výsledků numerické simulace pro návrh výšky protipovodňových hrází je zapotřebí kromě výše uvedených nejistot vzít v úvahu také dynamické jevy při průběhu povodně a navrhnout příslušné převýšení konstrukce nad vypočítanou teoretickou hladinou.

## **6. Vliv dopravních staveb na proudové poměry**

Tělesa silničních či železničních staveb křížují inundační území vodních toků a v závislosti na významnosti stavby a velikosti vodního toku různým způsobem ovlivňují proudové poměry v inundaci. V případě menšího toku a méně významné dopravní stavby jsou mosty často při větších průtocích přelévány, výškově odpovídají okolnímu terénu anebo jsou jen mírně navýšené a nájezdy na most jsou překážkou pro proudění vody jen v těsné blízkosti toku. U významnějších staveb, kdy vlastní mostní konstrukce je navržena bezpečně nad hladinou vody při povodni, bývá most propojen s nižším terénem dlouhým vyvýšeným nájezdem, který představuje významnou překážku pro proudění vody. V takovém případě bývá těleso komunikace doplněno dalšími inundačními mosty a propustky, které umožňují průtok vody v inundaci.

Při návrhu nové dopravní stavby je třeba respektovat příslušné normy, které definují, jaký průtok na toku má být použit pro návrh mostní konstrukce. V případě, že se jedná o významnou dopravní stavbu, bývá výškové řešení koncipováno tak, aby komunikace nebyla zvýšenou hladinou ohrožena, stavba je tudíž značně vyvýšená nad okolní terén často v celém rozsahu

inundačního území toku. V takovém případě je nutné navrhnout přemostění tak, aby nebyl nepříznivě ovlivněn průchod povodní inundačním územím kombinací zemního tělesa s několika mostními otvory případně s úseky estakády. K minimálnímu ovlivnění proudových poměrů při povodni by došlo v případě, že by celá komunikace v rozsahu inundace byla navržena jako estakáda. Vzhledem k tomu, že budování mostů je ale mimořádně ekonomicky náročné, je vhodné nalézt neekonomičtější variantu dispozičního uspořádání stavby s inundačními otvory vyhovující délky a umístěnými ve vhodném místě s pomocí numerické simulace proudových poměrů v okolí navrhované stavby. Metodika nalezení nejlepší varianty dispozičního návrhu stavby spočívá v detailním vyhodnocení proudových poměrů (hladiny, hloubek a rychlostí vody) pro několik variant uspořádání stavby a v jejich porovnání se současnými proudovými poměry v inundačním území.

Pro návrh vhodného uspořádání mostní konstrukce je klíčovým kritériem maximální poloha hladiny při zvoleném průtokovém stavu. Dalšími důležitými údaji pro návrh konstrukce jsou hodnoty rychlostí proudící vody v blízkosti pilířů a obtékaných násypů zemního tělesa. Výpočty je tedy možné většinou provádět pro ustálené proudění.

V případě jednoduché geometrie vodního toku a inundačního území a jednoduchého křížení komunikace s vodním tokem je možné pro výpočty použít model jednorozměrný. Ve složitějších případech je vhodné aplikovat model dvourozměrný, který umožňuje s dostatečnou přesností postihnout složité hydraulické podmínky při obtékání násypů silniční komunikace a dalších terénních tvarů a objektů v zájmové oblasti a kvantifikovat tak vliv výstavby na proudové poměry a vzdutí hladiny při povodni.

V případě mimořádně složitých podmínek, které by bylo obtížné vystihnout pomocí numerického modelu, je vhodné navrhnout posouzení plánované stavby na fyzikálním modelu, případně kombinovat model numerický a fyzikální (Valenta, Valentová, 2004a, Broža a kol., 2004).

Jako příklad využití dvourozměrného modelu FAST 2D pro variantní návrh komunikace křížící šikmo inundační území toku je uvedeno řešení zpracované v rámci připravované výstavby dálniční komunikace D3. Jedná se o úsek, kde komunikace překračuje inundační území Malše v blízkosti obce Roudné. V místě křížení s vodním tokem je trasa komunikace kolmá na vodní tok, vůči podélné ose inundačního území je však trasa orientována šikmo - důsledkem je relativně velká délka křížení se záplavovým územím.



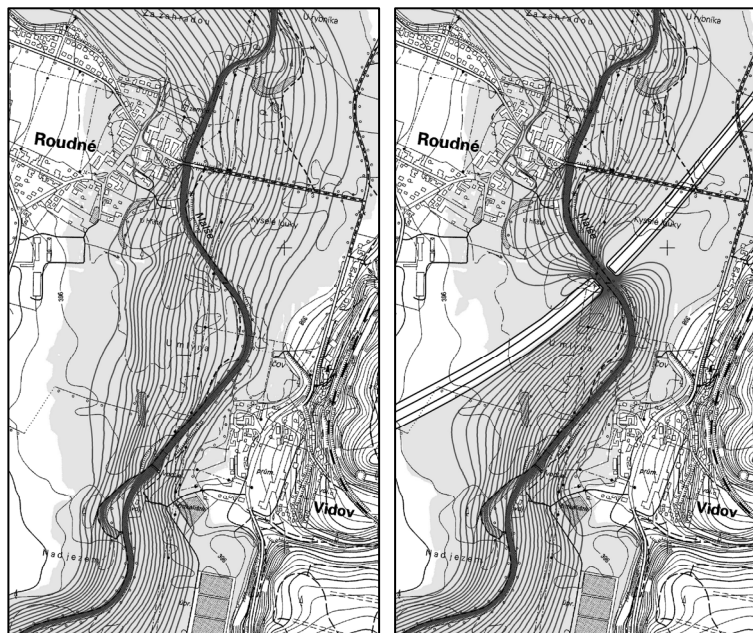
Obr. 1 Axonometrické zobrazení modelu terénu (3x převýšeno, pohled po vodě)

V obr. 1 je znázorněn model terénu ve výpočetním modelu v řešeném úseku včetně jedné z variant uspořádání nové komunikace. Třírozměrné axonometrické znázornění poskytuje velmi dobrou představu o vytvořeném prostorovém modelu zkoumaného území. Trasa komunikace probíhá mezi obcemi Roudné a Vidov. Vzhledem k tomu, že se navrhovaná stavba vyskytuje poblíž urbanizovaného území, byl zadán striktní požadavek, že průtokové podmínky při povodňových průtocích nesmějí být stavbou významně negativně ovlivněny. Výpočty byly zpracovány pro maximální pozorovaný průtok při povodni v roce 2002. Sestavený numerický model zahrnuje úsek toku Malše v délce přibližně 7 km, délka modelu je 5,5 km, šířka 1,7 km. Výpočetní síť byla navržena jako přímočará, tvořená celkem asi 1,5 milionem výpočetních buněk o rozměru cca 2,5 x 2,5 m v prostoru posuzované komunikace.

Model terénu byl vytvořen na základě dat z letecké fotogrammetrie, geodetického zaměření a doplňkových podkladů, koryto řeky bylo vytvořeno ze soustavy zaměřených příčných korytových a objektových řezů. Vzhledem k tomu, že pro řešenou lokalitu byly k dispozici kalibrační údaje, byla provedena kalibrace modelu.



Pro návrhový průtok bylo provedeno vyhodnocení polohy hladiny, rychlosti vody, hloubek vody a proudových pásů, ze kterých jsou dobře patrné směry proudění a případné koncentrace proudění vody v oblasti. Z obr. 2 vlevo je zřejmé, že značná část průtoku při povodni prochází v současném stavu mezi obcemi Vidov a Roudné nejprve levostrannou a dále pravostrannou inundací, které se zde ve velkém rozsahu podílejí aktivně na převádění průtoku. Z toho je možné usoudit, že komunikace navržená v tomto úseku v násypu by představovala značnou překážku pro proudění vody při povodni.



Obr. 2 Proudové pásy pro současný stav (vlevo) a pro výchozí variantu (vpravo)

Simulace proudových poměrů pro výhledový stav byla provedena nejprve pro výchozí variantu návrhu silnice, ve které je celé těleso komunikace v inundaci tvořeno násypem a řeka je překročena mostem v délce cca 71 m. Terén ve výpočetním modelu byl upraven v souladu s návrhem komunikace a byly provedeny výpočty a vyhodnoceny výsledky. Byly vyhodnoceny rozdíly hladin v řešené variantě a pro současný stav území. Vyhodnocení ukázalo, že násyp komunikace způsobí zvýšení hladiny ve velkém rozsahu inundace a to o 2 až 3 metry v blízkosti mostu a obce Vidov. Také by došlo ke zvýšení rychlosti proudící vody pod mostem (až  $4 \text{ ms}^{-1}$ ) a v úseku mezi

mostem a obcí Roudné, kde model indikoval významnou koncentraci proudu, jak je zřejmé z vyhodnocení proudových pásů v obr. 2.

Vzhledem ke zjištěným negativním vlivům této varianty na proudové poměry bylo dále zkoumáno několik variant uvažujících částečné zprůtočnění levostranné inundace vybudováním dalších mostních objektů, případně vybudování souvislého úseku estakády různé délky v aktivní části inundace. Po detailním vyhodnocení proudových charakteristik pro jednotlivé varianty byl doporučen návrh komunikace s estakádou délky 1200 m, při kterém se proudové poměry blíží přirozeným poměrům. Zvýšení hladiny je oproti současnému stavu v blízkosti Vidova cca 10 cm, zvýšené rychlosti proudící vody se vyskytují pouze v oblasti zhlaví tělesa násypu, což předpokládá nutnost řádného opevnění zhlaví násypů.

## **7. Vliv zástavby a protipovodňových opatření na průchod povodňové vlny**

Zástavba představuje při průchodu povodní neprůtočné překážky, které brání volnému průchodu vody inundací, způsobují vzduť hladiny, které se propaguje proti proudu, a koncentraci proudění vody. Metodika dvourozměrného numerického modelování umožňuje detailně analyzovat proudové poměry v současném stavu, odhalit problematická místa a případně navrhnout nejlepší variantu protipovodňové ochrany.

K ochraně zastavěných území slouží protipovodňová opatření, jejichž cílem je snížení rizika povodně a omezení povodňových škod. Protipovodňová opatření v současné době zahrnují soubor technických i netechnických (přírodě blízkých) opatření. Při ochraně v intravilánu obcí se uplatňuje především budování protipovodňových bariér, jejichž úkolem je zabránit zaplavení zástavby, případně zkapacitnění koryta a úpravy objektů na toku umožňující bezpečné odvedení vody ze zastavěného území. V extravilánu jde při protipovodňové ochraně jednak o budování retenčních prostorů a jednak o opatření, která mají za cíl zvětšit transformační účinek území změnou hospodaření v území, zvýšením jeho drsnosti, revitalizací toků a nivy apod.

Kvantitativnímu hodnocení vlivu nově budovaných protipovodňových opatření na proudové poměry v inundačních územích mimo rozsah samotné úpravy se doposud příliš pozornosti nevěnovalo. Dvourozměrné numerické modelování skýtá možnost tyto vlivy objektivně vyhodnotit i z tohoto hlediska a přispět tak k jejich efektivnímu návrhu.

Vybudované protipovodňové bariéry v intravilánu jsou novou umělou překážkou pro proudění vody. Jejich dopad na podmínky proudění

v intravilánu včetně vyvolaného vzduší hladiny je možné vyhodnotit pomocí numerického modelu ustáleného proudění vody. Protipovodňové bariéry současně zmenšují prostor pro rozliv vody a tím mohou také urychlit průchod povodňové vlny směrem po vodě. Tento dopad ohrázování části území na dynamiku povodňové vlny je možné vyhodnotit pomocí neustáleného modelu proudění podobně jako je tomu v případech různých úprav v údolních nivách sledujících zvýšení transformačního účinku území.

Požadavky na vlastní dvourozměrný model jsou obdobné jako v případech posuzování vlivu dopravních staveb na proudové poměry. Výpočetní síť musí být dostatečně podrobná, aby umožňovala zohlednit jednotlivé stavby – neprůtočné překážky, lomy terénu a různé hodnoty drsnostních parametrů. Výchozí podklady pro model terénu by měly být co nejpřesnější. Většinou jsou tímto podkladem data vyhodnocená leteckou fotogrammetrií, příp. laserovým skenováním, vyhodnoceny by měly být všechny terénní hrany nad 25 cm výškového rozdílu. Nezbytným podkladem pro zohlednění všech plánovaných změn v modelu terénu je projekt návrhu protipovodňových opatření.

Metodika hodnocení vhodnosti návrhu protipovodňových opatření a jejich vlivu na průtokové poměry spočívá v porovnání proudových poměrů pro stávající stav území a pro stav po vybudování opatření. Výpočty se provádějí pro průtokový stav stanovený zadavatelem, většinou se buduje ochrana na padesátiletou nebo stoletou povodeň v závislosti na výši škod, kterým se díky ochraně území zabrání. Je-li součástí návrhu protipovodňových opatření ve městě také návrh retenčních nádrží v povodí, provede se výpočet pro hodnoty průtoků transformovaných těmito nádržemi.

Důležitým výstupem numerických simulací pro výsledný návrh ochrany jsou vypočtené výšky hladin, hodnoty průměrných svislicových rychlostí, které mohou sloužit pro stanovení či ověření technických parametrů navrhovaných úprav (např. výšek navrhovaných protipovodňových bariér). Údaje o hloubkách vody a rychlostech v nechráněném zaplaveném území mohou být důležité pro návrh povodňového plánu.

### **7.1 Analýza vlivu protipovodňových opatření při ustáleném proudění**

Jako příklad využití dvourozměrného modelu pro efektivní návrh protipovodňových opatření je uveden návrh protipovodňových opatření pro město Veselí nad Lužnicí. Podmínky průchodu povodní v tomto území jsou velmi složité vzhledem k tomu, že město leží na soutoku dvou významných toků – Lužnice a Nežárky, které jsou navíc propojené umělým kanálem Degárkou. Při povodňových situacích dochází k přetékání vody mezi jednotlivými toky, směr přetékání se mění v závislosti na vzájemném

poměru průtoků (viz Obr. 3). Nad i pod městem jsou napříč inundačním územím vedeny dvě dopravní stavby, které svými násypy vzdouvají vodu při povodni. V rámci projektu FLAMIS (Valenta a kol. 2006) byla pomocí modelu FAST 2D provedena detailní analýza proudových poměrů ve městě pro různé scénáře povodňových situací. Na základě této analýzy a na základě poznatků získaných při povodni v roce 2002 byly analyzovány návrhy několika variant protipovodňových opatření.



Obr. 3 Hlavní směry proudění pro průtok  $Q_{50N}$  (vlevo) a pro průtok  $Q_{50L}$  (vpravo)

Základním prvkem protipovodňové ochrany ve městě jsou protipovodňové bariéry, pod soutokem Nežárky s Lužnicí je dále navrženo kompenzační rozšíření koryta řeky. Pomocí numerického modelu byla také testována teoretická možnost odstranění násypu silničního obchvatu pod městem. Těleso násypu bylo totiž při povodni v roce 2002 příčinou vzduť hladiny vzhledem k nedostatečné kapacitě mostního otvoru. Kromě těchto opatření v intravilánu byla také brána v úvahu další protipovodňová opatření v povodí nad městem – především vybudování nových retenčních prostorů, který by měly zajistit snížení kulminačních průtoků.

Pro optimalizaci jednotlivých navržených opatření, případně jejich kombinací, bylo zapotřebí provést úpravy dvourozměrného modelu sestaveného pro současný stav území. Rozšíření koryta se zohlednilo příslušnou úpravou v modelu terénu, protipovodňové bariéry se simulovaly pomocí neprůtočných buněk výpočetní sítě. Výpočty pro zvolené průtokové varianty byly vyhodnoceny ve formě map hladin, rychlostí a proudových pásů a provedlo se porovnání s charakteristikami proudění pro současný stav. Z detailního vyhodnocení vyplynuly závěry týkající se zvýšení hladiny a rychlostí vody způsobené vybudováním bariér. Údaje o poloze hladiny je možné využít jako podklad pro návrh výšky bariér při různých návrhových průtocích, přitom je zapotřebí vzít v úvahu, že hladina stanovená výpočtem

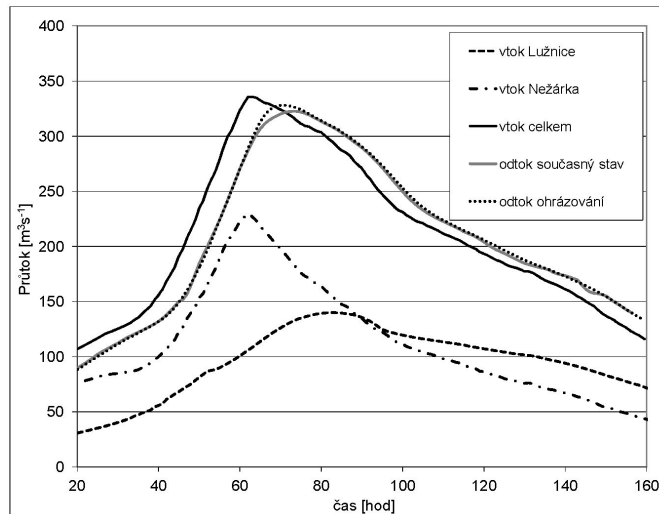
je teoretická hladina nezohledňující různé náhodné jevy vznikající při povodni. Jedním z dílčích závěrů modelování také např. je, že ani úplné odstranění násypu silničního obchvatu pod městem by nepřispělo k významnému snížení hladiny uvnitř města.

## 7.2 Analýza vlivu protipovodňových opatření na dynamiku povodně

Omezení průtočné plochy způsobené ohrázováním části zaplavovaného území a úpravy koryt vedoucí ke zkapacitnění koryta vedou ke změně dynamiky povodňové vlny. Tyto úpravy v intravilánu mohou způsobit, že do níže ležících obcí povodňová vlna přijde rychleji a s vyšším kulminačním průtokem. Nakolik významná tato změna je a zda může představovat zvýšené povodňové nebezpečí pro lokality nacházející se níže po proudu, je možné posoudit pomocí modelu neustáleného proudění.

Pro kvantitativní posouzení změny v dynamice průchodu povodňové vlny způsobené vybudováním protipovodňových bariér ve městě Veselí nad Lužnicí byl sestaven dvourozměrný model zahrnující asi 10 km dlouhý úsek od železniční trati ve Veselí nad Lužnicí po okraj Soběslavi. Řešení bylo provedeno pomocí modelu DIFEM 2D využívajícího metodu konečných prvků. Model byl sestaven ve dvou variantách – pro současný stav, při kterém při povodňových situacích voda protéká zástavbou ve městě, a pro stav návrhový, který nastane po vybudování protipovodňových bariér chránících zástavbu. Pro stanovení vlivu protipovodňového opatření na průchod povodňové vlny byl zvolen teoretický stav, při kterém po Lužnici i po Nežárce přitékají povodňové vlny s kulminačním průtokem odpovídajícím přibližně stoleté povodni, přitom kulminace jsou vůči sobě časově posunuté asi o 20 hodin (viz obr. 4). Na soutoku za této situace vzniká vlna s kulminačním průtokem převyšujícím stoletou povodeň.

Výsledky výpočtů pro obě varianty byly vyhodnoceny ve formě časového průběhu povodňových vln na konci řešeného úseku. V grafu na obr. 4 je plnou černou čarou zobrazena vstupní vlna. Tvar transformované vlny na odtokové hranici modelu pro současný stav znázorňuje šedivá plná křivka, pro variantu s ohrázováním tečkovaná křivka. Výsledky simulace pro stav s ohrázováním ukazují oproti srovnávací variantě nepatrný vzrůst kulminačního průtoku (o  $6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) a jeho dřívější příchod (o 2,5 hod.). K podstatnějšímu negativnímu ovlivnění – zmenšení transformace vlny v důsledku ohrázování části inundačního území by mohlo dojít při vyloučení rozsáhlejší části inundace zástavbou či ohrázováním.



Obr. 4 Zobrazení povodňových vln na vstupním a výstupním okraji modelu

## 8. Závěr

V přednášce jsou prezentovány současné možnosti zkoumání vlivu zástavby a protipovodňových opatření za pomoci metody dvourozměrného numerického modelování proudění vody při povodňových situacích. Numerické modelování může být použito pro hodnocení vlivu existující zástavby nebo nově plánovaných staveb v inundačním území, může být použito pro vyhodnocení dynamiky povodňové vlny ve stávajícím území anebo v území pozměněném plánovanými úpravami. Dvourozměrné modely umožňují simulovat proudění vody ve značně složitých podmínkách širokých, plochých inundačních území s nepravidelným terénem, v inundačních územích s meandrujícím tokem a také v územích urbanizovaných. Výhodou dvourozměrných modelů je možnost detailně zohlednit při dostatečně podrobné výpočetní síti i lokální úpravy a změny v záplavovém území.

Aplikace prezentovaných postupů umožňuje objektivní hodnocení různých variant navrhovaných změn v inundačním území a vede tak k návrhu efektivních opatření, která jsou optimalizována z hlediska jejich účinnosti i efektivnosti.

## Literatura

- Abbott, M.B, 1979. Computational Hydraulics - Elements of the Theory of Free Surface Flow. London : Pitman Publishing LTD.
- Bates, P.D., De Roo, A.P.J., 2000. A simple raster-based model for floodplain inundation. *Journal of Hydrology* 236, 54–77.
- Broža, V. a kol., 2004. ČD DDC, Přestavba železniční stanice Ústí nad Orlicí. Výzkum podmínek průchodu povodní na Třebovce v Ústí nad Orlicí v místě realizace nového silničního mostu a nové trasy železniční komunikace na hydraulickém modelu. Praha ČVUT, Fakulta stavební.
- Froehlich, D.C., 1989. HW031.D - Finite Element Surface-Water Modeling System: Two-Dimensional Flow in a Horizontal Plane--Users Manual: Federal Highway Administration Report FHWA-RD-88-177, 285 p.
- Hervouet, J., M., Van Haren, L., 1996, Recent Advances in Numerical Methods for Fluid Flows. In : Floodplain Processes, In: Anderson, M., G., Walling, D., E, Bates, P., D. (Ed): Floodplain Processes, John & Wiley Sons , Chapter 6, 183-214.
- Hromadka, T.V., Chung-Cheng, Y., Bajak, P.A., 1992. Application of the USGS Diffusion Hydrodynamic Model (DHM) in Evaluation of Estuary Flow Circulation, *Advances in Engineering Software*, Vol. 14, Issue 4, p. 291-301.
- Hunter, N.M., Bates, P.D., Horritt, S., Wilson, M.D., 2007. Simple spatially-distributed models for predicting flood inundation: A review. *Geomorphology* 90, 208-225.
- Kim, Ch., Yoon, T., Cho, Y., Kim, S., 2003. A Two-dimensional Conservative Finite Difference Model in Nonorthogonal Coordinate System. *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 41, No. 4, p. 395-403.
- Knight, D.W., K. Shiono, 1996. River Channel and Floodplain Hydraulics. in *Floodplain Processes*, M.G. Anderson, P.D. Bates, D. E. Walling (editors), John Wiley & Sons Ltd.
- Valenta, P., 2004: Dvourozměrné numerické modelování proudění vody v otevřených korytech a inundačních územích. Habilitační práce, ČVUT Praha.
- Valenta, P., Valentová, J. 2004b: Studie účinnosti protipovodňových opatření v Ústí nad Orlicí. ČVUT v Praze, Fakulta stavební.
- Valenta, P. a kol., 2006. FLAMIS Project, Final Report, CTU, Prague, CHMI, Vltava River Basin Board, Ecole Polytechnique Fédérale, Lausanne.
- Valentová, J., Valenta, P., 2011. Analýza průchodu povodňové vlny údolní nivou pomocí 2D difúzního modelu. In: Revitalizace vodního systému krajiny a měst zatíženého významnými antropogenními změnami-sborník k VZ MSM6840770002., str. 210-215, ISBN 978-80-01-04944-0

## **Ing. Jana Valentová, CSc.**

Datum narození: 10. 8. 1959, národnost česká, vdaná, dvě děti

### **Vzdělání a kvalifikace**

- 1983      Ing. – obor vodní stavby a vodní hospodářství, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební
- 1991      CSc. , obor meliorace - České vysoké učení technické v Praze, specializace: proudění vody v nenasycené zóně porézního prostředí, kandidátská disertační práce – Jednorozměrný numerický model proudění vody v heterog. půdním prostředí

### **Zaměstnání a odborné stáže**

- 1991 – dosud České vysoké učení technické, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, odborný asistent
- 2007,2008    Pražský technologický institut, pedagog, částečný úvazek
- 1997 – 1998    Hydroinform, a.s., externí spolupracovník, vodohospodář
- 1991      týdenní pobyt na IHEE Delft – mezinárodní kurz „Modelování transportu vody a znečišťujících látek pod povrchem“
- 1993      týdenní pobyt na IHEE Delft – mezinárodní kurz Geostatistická analýza v modelování proudění podzemní vody
- 1997      čtrnáctidenní pobyt na Dánském hydraulickém institutu (DHI) v Kodani, práce s modelem MikeShe

### **Členství v odborných organizacích**

- ČVTVHS sekce pro vodní toky  
Česká pedologická společnost

### **Jazykové znalosti**

angličtina, ruština



### **Pedagogická činnost**

- 1991 – 1994 spolupráce na výuce cvičení z předmětu Hydraulika podzemní vody
- 1994 – dosud vedení přednášek a cvičení z předmětu Hydraulika podzemní vody – obor Z a V, výuka volitelného předmětu Numerické modelování proudění podzemní vody, spolupráce na výuce předmětů Základy informatiky, Technické aplikace programování, Výuka v terénu – pedologie, vedení diplomových prací
- 1995, 1996 výuka na mezinárodních kurzech „Modeling Flow and Contaminant Transport in the Subsurface“ pořádaných Fakultou stavební ČVUT a Karlovou Universitou
- 2007 výuka na mezinárodním kurzu v rámci projektu ASIA PROECO v Kambodži - témata Základy hydrauliky podzemní vody, Numerické modelování proudění vody při povodních, Numerické modelování proudění podzemní vody a transportu znečištění (přednášky)
- 2007, 2008 výuka na Pražském technologickém institutu - předmět Prevence a sanace ekologických havárií (přednášky a cvičení)
- 2003 – dosud školitel doktorandů

### **Vědeckovýzkumná činnost**

specializace: proudění vody a transport znečišťujících látek pod zemským povrchem, proudění vody v otevřených korytech a inundačních územích

spoluřešitel výzkumných úkolů:

- 1990 – 1991 výzkumný úkol „Třeboňská pánev – infiltrační oblasti“
- 1991 – 1993 výzkumný úkol „ Numerické modelování šíření kontaminace v okolí skládek“ a grantový úkol „Koncepce a řešení ukládání odpadů do vytěžených horninových prostor“
- 1994 – 1996 grant „ Transportní procesy v pramenných oblastech (aplikace v povodí Divoké a Tiché Orlice)
- 1999 Výzkumný úkol „ Nový plavební stupeň Přelouč“

1999-2004	výzkumný záměr Integrované vodní hospodářství a ochrana před povodněmi v rámci trvale udržitelného rozvoje
2001-2003	mezinárodní česko – švýcarský projekt FLAMOR – Flood Analysis and Mitigation on the Orlice River
2003-2006	mezinárodní česko – švýcarský projekt FLAMIS – Flood Analysis and Mitigation in the Southern Bohemia
2003-2006	projekt VAV/650/03 Labe IV (hl. řešitel VÚV TGM)
2006-2011	výzkumný záměr Revitalizace vodního systému krajiny a měst zatíženého významnými antropogenními změnami
2004-2007	projekt Aquaterra (hl. řešitel VÚV TGM)
2007	mezinárodní projekt CONTRIB – AsiaProEco II
2011	mezinárodní projekt LABEL (řešitel VRV a.s.)
2009-2011	projekt Retence vody v nivách a možnosti jejího zvýšení

### **Vybrané publikace**

- Rudiš, M., Valenta P., Valentová, J., 2004. Numerical Solution of Re-Suspension of Cohesive Sediments in the Reservoir of Střekov on the Lower Reach of Czech Elbe, *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, Vol. 52, No. 3, pp. 162-174
- Rudiš, M., Valenta, P., Valentová, J., Nal, O., 2009. Assessment of the deposition of polluted sediments transferred by a catastrophic flood and related changes in groundwater quality. *Journal of Hydrology*, No. 369, 326-335.
- Valenta, P., Valentová, J., 2003. Detailed Numerical Modeling of Flood Flow in Floodplains with Complex Geometry. *Acta Polytechnica*, Vol. 43, No. 3, p. 55 – 60. ISSN 1210-2709.
- Valentová, J., Valenta, P., 2004. Modelling of Groundwater Flow in the Vicinity of Tunnel Structures. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, Vol. 52, No. 2, pp. 91-101.
- Valentová, J., Valenta, P., Weyskrabová, L., 2010. Assessing the Retention Capacity of a Floodplain Using a 2D Numerical Model, *J. Hydrol. Hydromech.*, 58, 4, 221-232.
- Valentová, J., Valenta, P., 2006. Vliv prostorové schematizace na kvalitu numerického modelování proudění vody při povodních. *J. Hydrol. Hydromech.*, 54, 1, 58-70.