APLIKACE HYDROLOGICKÉHO MODELU WETSPA V POVODÍ POLEČNICE

Kateřina Uhlířová, Tomáš Dostál, Florimond De Smedt, Okke Batelaan

Abstrakt: Modelování srážko-odtokových vztahů je v současné době velmi aktuální záležitost. Na pracovišti Katedry hydromeliorací je výzkum zaměřen mimo jiné i na vliv retenční schopnosti krajiny a různých technických opatření na povodňové průtoky. Je snaha řešit problémy v zájmovém území povodí Polečnice, kde opakovaně dochází k povodňovým situacím. Cílem je nalezení nejnebezpečnějších lokalit z hlediska povrchového odtoku v povodí Polečnice, doporučení pro zvýšení retence území, posouzení kritických míst a profilů v povodí. V tomto povodí byly již v minulosti některé jevy simulovány pomocí hydrologického prostředku WMS, kde se využívaly především empirické metody. V příspěvku je podrobně popsán model WetSpa, který je převážně fyzikálně založen, a jeho první aplikace pro dané povodí. V budoucnosti bude tento model také využit pro řešení srážko-odtokové situace v povodí a návrh opatření. Také bude vyhodnocena praktická využitelnost obou modelů, včetně doporučení pro jejich aplikaci.

Klíčová slova: Modelování srážko-odtokových procesů, WetSpa, GIS, předpověď povodní

Application of Hydrologic Model WetSpa in the Polecnice Catchment *Nowadays the rainfall-runoff modelling is an important concern. The research (at the Department of Drainage, Irrigation and Landscape Engineering) is focused on the influence of retention capacity of the catchment and some technical measures to extreme outflows. The aim is to find the solution of repeated flooded catchment of Polecnice stream, to find up the critical source areas of the production of surface runoff, recommendation for increasing the retention capacity of the area, adjudication of critical profiles (points) in the basin and suggestion their adjustments. There were already simulated some effects using hydrologic interface WMS, where mostly the empiric methods are used. Model WetSpa, that is almost physically based, and its first application for Polecnice catchment are described in detail in this report. In future the model will be also used for finding the solution of rainfall-runoff situation of the basin and for suggestion of measures. Practical utilizabibility including the recommendation for their application will be interpreted.*

Key words: Rainfall-runoff modelling, WetSpa, GIS, Flood prediction

---

HYDROLOGICKÉ SIMULAČNÍ PROSTŘEDKY

Po povodních v letech 1997 a 2002 vzrostl význam protipovodňové ochrany a s tím spojené zaměření na výzkum vlivu retenční schopnosti krajiny a různých technických opatření na povodňové průtoky. Výzkum tímto směrem usnadňují i různé hydrologické simulační prostředky. Ve světě proto vzniká množství takovýchto modelů, které se snaží popisovat reálné přírodní procesy nejrůznějšími způsoby. Jelikož se jedná o složitou problematiku dochází ke konfrontaci mezi přesností popisu procesů a jednoduchostí a dostupností vstupních dat. Nejzákladnější rozdělení modelů je tedy na modely empirické a modely fyzikálně založené. Empirické metody vycházejí z dlouhodobého experimentálního sledování vlivu jednotlivých hydrologických faktorů a zjednodušeněji popisují složité procesy. Z toho vyplývá, že i náročnost na vstupní data není příliš vysoká. Fyzikálně založené modely se snaží o přesný popis hydrologických procesů, které vycházejí z diferenciálních rovnic proudění, rovnic zachování hmoty a energie atd. Se zvyšující se požadovanou přesností narůstá i poptávka po detailnějších datech jak z hlediska prostorového rozlišením, tak z hlediska potřeby většího množství informací. Samozřejmě je snaha skombinovat výhody obou metod a tak vznikají modely, které jsou částečně fyzikálně založené, ale obsahují i empirické parametry.

APLIKACE MODELŮ V ZÁJMOVÉM POVODÍ

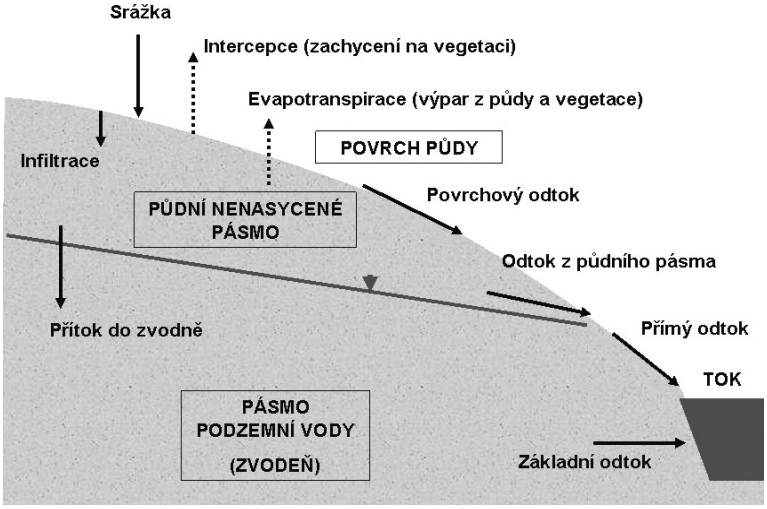
V zájmovém povodí Polečnice již byly pomocí hydrologického prostředku WMS 6.1 (Watershed Modeling System) simulovány průběhy odtoků při povodních v létě 2002 a také některé vlivy retenčních prvků a technických opatření (jako např. změna využití území, vliv drsnosti a velikosti koryta, vliv rozlití toku do inundace s různou drsností, transformace odtoku malou vodní nádrží). V tomto případě byly použity empirické vztahy pro výpočet hydrogramů odtoků, jako například metoda čísel odtokových křivek (CN) a metoda jednotkového hydrogramu (UH). [2]
Díky spolupráci s Vrije Universiteit Brussel (VUB) se podařilo seznámit s modelem WetSpa Extension (dále jen WetSpa), který je založen na převážně fyzikálních principech. Nabízí se tedy otázka, který model, popř. typ modelu je pro které konkrétní případy vhodnější. Zatím je práce s modelem WetSpa v počáteční fázi. V budoucnu bude snaha o porovnání nejen přesnosti výsledků z jednotlivých modelů, ale i způsobu práce s modely, přípravou vstupních dat, uživatelskou přístupností, omezeních atd.

Charakteristika zájmového povodí

Zájmové území povodí Polečnice leží v jižních Čechách. Jeho rozloha je 198 km^2. Lesy pokrývají bezmála 50%, téměř třetinu pokrývají trvalé travní porosty a zbytek připadá na lad ve vojenském prostoru (11%), ornou půdu (8%) a intravilán (2%). Přestože využití území je z hydrologického pohledu příznivé, dochází k opakovaným problémům s vybřežováním toku a k následnému ohrožování předměstí Českého Krumlova, kde se Polečnice vlévá do Vltavy. Příčinou je možnost střetu odtokových vln z dílčích podpovodí Polečnice a Chvalšinského potoka, které mají podobný charakter a velikost. Toto povodí se tedy zdá příhodné pro zpracování studie, která by posoudila vliv různých typů přirozených či technických retenčních prvků v povodí na pozitivní ovlivnění odtokových charakteristik. Hledá se proto vhodný nástroj pro řešení této problematické oblasti. [2]

MODEL WETSPA

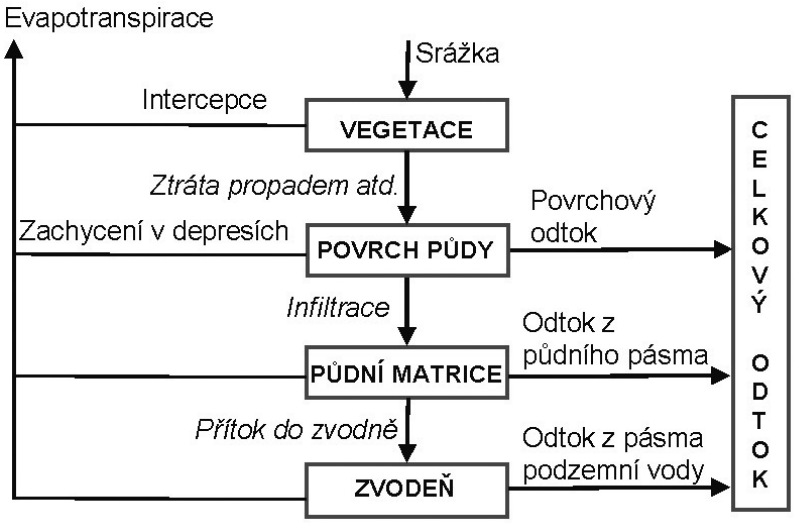
WetSpa Extension je hydrologický model s distributivním přístupem v měřítku povodí. Je založený na GIS a naprogramován jako nadstavba ArcView. Byl vytvořen na Vrije Universiteit Brussel (De Smedt a kol., 2000; Liu a kol., 1999, 2002, 2003). Model je fyzikálně založen a simuluje kontinuálně v čase i prostoru hydrologické procesy jako srážky, tání sněhu, intercepci, akumulaci v depresích, povrchový odtok, infiltraci, evapotranspiraci, perkolaci, odtok z půdní nenasycené vrstvy, odtok z pásma podzemní vody atd., tak jak je znázorněno na Obr. 1.
Model počítá s prostorově rozdělenými hydrologickými a geofyzikálními charakteristikami povodí, a proto je vhodný pro zkoumání vlivu využití území na hydrologické chování toku a povodí a pro modelování předpovědi povodní



Obr. 1 Přehled procesů simulovaných modelem WetSpa

Struktura modelu

Pro tyto procesy je zachován princip zachování hmoty a energie v každé buňce rastru. Schéma těchto procesů na úrovni buňky je zřejmé z Obr. 2.



Obr. 2 Schéma modelu WetSpa

Model používá několik vrstev k znázornění principu zachování rovnováhy objemu vody a energie pro každou buňku rastru. Bere v úvahu tyto procesy: srážky, infiltraci, tání sněhu, akumulaci v depresích, infiltraci, evapotranspiraci, perkolaci, povrchový odtok, odtok z nenasycené půdní vrstvy a odtok z pásma podzemní vody. Simulované hydrologické systémy se sestávají ze 4 kontrolních objemů: vegetační pásmo, povrch půdy, kořenová zóna a pásmo podzemní vody.
Objem srážky, který spadne z atmosféry, je zmenšen o intercepci. Zbývající srážka dosáhne zemského povrchu a je rozdělena na dvě části, které závisejí na pokryvu země, typu půdy, sklonu, velikosti srážky a předcházející vlhkosti půdy. První část vyplní v počátečním stádiu terénní deprese a zároveň odtéká po povrchu, zatímco zbylá část se vsakuje do půdy. Infiltrovaná část srážky může zůstat jako půdní vlhkost v kořenné zóně a pohybovat se laterálně jako odtok z nenasyceného půdního pásma, nebo může prosáknout dále a doplnit zásobu podzemní vody, což záleží na vlhkostním podílu půdy. Podzemní voda v dané buňce odtéká laterálně, což závisí na množství podpovrchové zásoby a recesním koeficientu (recession coef.). Předpokládá se, že perkolace půdní vrstvy obohacuje podpovrchovou zásobu a odtok z kořenné zóny přispívá povrchovému odtoku a pak společně směřují k závěrovému profilu. Celkový odtok z každé buňky je stanoven jako součet povrchového odtoku, odtoku z kořenné zóny a odtoku z pásma podzemní vody. K evaporaci dochází u vody zachycené na vegetaci, v terénních depresích a z půdního povrchu, zatímco transpirace je výpar z rostlin skrz kořenový systém.
Vodní rovnováha pro intercepci obsahuje srážky, výpar a propad. Vodní rovnováha pro akumulaci v depresích obsahuje propad, infiltraci, výpar a povrchový odtok. Vodní rovnováha v půdním sloupci zahrnuje infiltraci, evapotranspiraci, perkolaci a mělké podpovrchové proudění. Vodní rovnováha pro podpovrchovou zásobu obsahuje dodatek podzemní vody, hlubokou evapotranspiraci a rovnoběžné (laterální) podzemní proudění. Obr. 2 ukazuje schématicky strukturu modelu na úrovni buňky. [1]

Vstupní data

Model pro svou funkci potřebuje digitální prostorově orientovaná data, která popisují dané území, a hydrometeorologické informace.

Základní charakteristiky území

Model používá prostorově georeferencovaná data. Tato data slouží jako vstup pro odvození parametrů modelu, která jsou pak použita ve vlastním výpočtu. Tato příprava dat probíhá v GIS ArcView.

V modelu jsou použité tři základní vstupy a to: topografická digitální mapa, mapa využití území a mapa půdních typů. Ostatní digitální data jsou volitelná v závislosti na dostupnosti, účelu a přesnosti požadované projektem.

1. **Digitální model terénu** (Digital Elevation Model - DEM) je rastrová mapa nadmořských výšek, která vznikla z bodové či vrstevnicové topografické mapy.
2. **Mapa využití území** - Informace o využití území jsou obvykle získány pomocí dálkového průzkumu Země. Z důvodů simulací hydrologických procesů rozlišuje model WetSpa 14 různých kategorií využití území (např. orná půda, jehličnatý les, listnatý les, travní porost, atd.)
3. **Mapa půdních typů** - Kódový systém, který používá model WetSpa, je založen na trojúhelníkovém diagramu půdních textur, který je charakterizován poměrem zastoupení prachu, jílu a písku (Klasifikace USDA – U.S. Department of Agriculture). Je možné odlišit 12 tříd (např. písčitá, hlinitopísčitá, hlinitá, jílovitá atd.)
4. **Volitelná digitální data** jsou nepovinná a slouží jako doplňující zpřesňující informace (např. umístění srážkoměrů, hydrografická síť, hlavní komunikace, hranice povodí, kanalizační systém atd.)

Hydrometeorologická data

Základní vstupní požadavky se skládají z meteorologických dat, dat o průtocích pro kalibraci a validaci modelu, z kalibrovatelných parametrů modelu a počátečních podmínek,. Základem meteorologických dat jsou srážky a potenciální evapotranspirace. Teplotní data nejsou nutná, pokud se nemodeluje tání sněhu. V případě počítání potenciální evapotranspirace Pentan-Monteith rovnicí jsou potřeba další meteorologická data: teplota vzduchu, sluneční svit, relativní vlhkost vzduchu a rychlost větru. Data musí mít stejné časové rozlišení, jako je výpočetní krok modelu (např. 1 hodinu, 1 den atd.).
Přehled potřebných dat

1. **Srážky**
2. **Potenciální evapotranspirace**
3. **Průtok** (m3/s)
4. **Doplňková meteorologická data** (Teplota, a data potřebná k výpočtu PET.)

Příprava dat

Jak již bylo řečeno, proces přípravy dat pro výpočet probíhá v GIS ArcView. Ze tří základních vrstev jsou pomocí předdefinovaných procedur a tabulkových hodnot, získaných z odborné literatury, vytvořena řada prostorově definovaných charakteristik.

Z digitálního modelu terénu se získají tyto prostorové charakteristiky: směr proudění, akumulace proudění, síť toků, pořadí toků, sklon, hydraulický poloměr, rozdělení na podpovodí.
Land use je základem pro mapy hloubky kořenů, maximální a minimální intercepční kapacity a Manningova drsnostního koeficientu.
A půdní mapa je podkladem pro tyto charakteristiky: hydraulická vodivost, pórovitost, zůstatková vlhkost, pórový index, bod vadnutí, vodní polní kapacita, počáteční vlhkost.
Kombinací výše zmíněných vlastností je možno vytvořit tyto charakteristiky pro následný výpočet: rychlost proudění, doba doběhu do závěrového profilu povodí a podpovodí, potenciální koeficient odtoku, kapacita zachycení v depresích.
Některé z výše zmíněných charakteristik, vytvořených v ArcView a uložených jako ASCII soubor, jsou pak základem pro výpočet jednotkových hydrografů a výsledných hydrogramů odtoku.

Kalibrace modelu

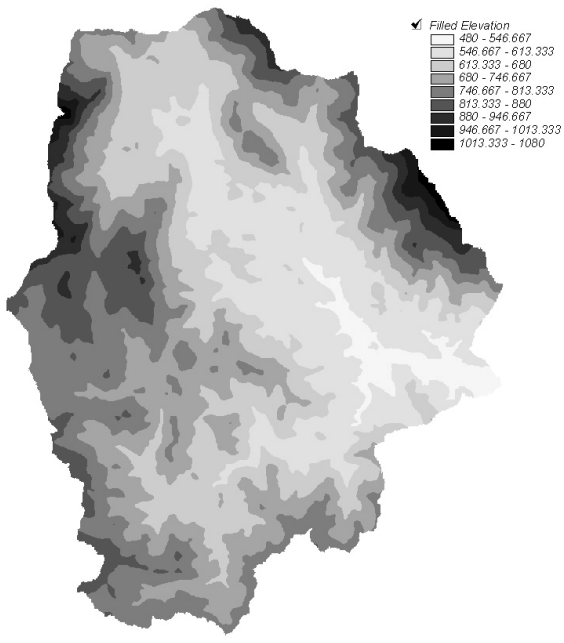
Pro správný chod modelu je třeba jeho kalibrace a následná validace. K tomu slouží změna parametrů, které mají buď fyzikální nebo empirický základ. Těchto parametrů je 11, v případě modelování nezimního období je jich potřeba pouze 8. Dále je možné změnit i některé parametry v preprocesingu.

Kalibrace může být buď manuální a nebo je pro doladění možné použít automatickou kalibraci pomocí programu PEST (Parameter Estimation). Namodelované výsledky odtoků jsou pak porovnávány s měřenými odtoky se snahou docílit co nejmenšího rozdílu. K tomu slouží i statistické vyhodnocení, které je možné použít.

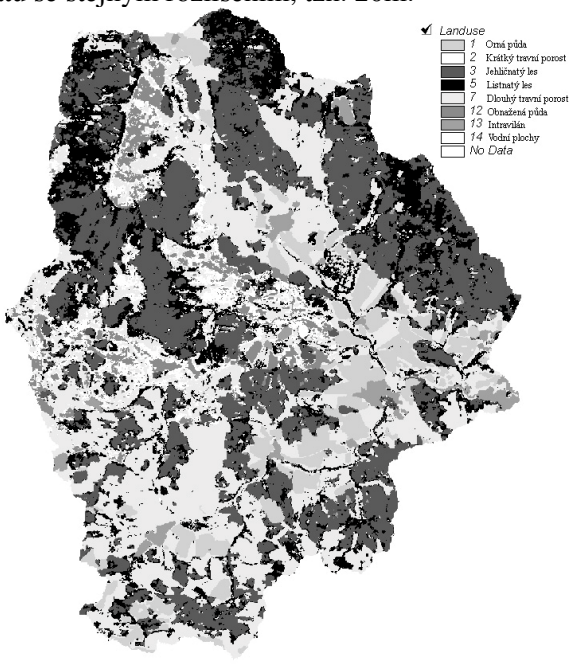
Použitá data pro povodí Polečnice

1) **Digitální model terénu** (Digital Elevation Model - DEM) – Zdrojem byl DMÚ 25, M 1:25 000 (VTOPÚ): vrstevnice s ekvidistantou 5m. Výsledkem je rastrová mapa s rozlišením 20m. (Obr. 3)
2) **Mapa využití území** byla získána vyhodnocením družicového snímku Landsat ETM+ (rozlišení 30m – 3 spektra R, IR1, IR2; doba snímku srpen-září 2000). Bylo rozlišeno 8 různých kategorií využití území (orná půda, jehličnatý les, listnatý les, krátký travní porost, dlouhý travní porost, holá půda, intravilán a vodní plochy) (Obr.4)
3) **Mapa půdních typů** byla vytvořena na základě mapy BPEJ (bonitované půdně ekologické jednotky) M 1 : 5 000 (VÚMOP) a mapy KPP (komplexní průzkum půd) M 1:200 000 (ČZU). Zatřídění do klasifikace USDA (U.S. Department of Agriculture) proběhlo s pomocí konzultace Doc. Kuráže. Celkem bylo rozlišeno 7 půdních typů.
4) **Srážky, měřené odtoky a data pro potenciální evapotranspiraci** – použita data z automatické srážkoměrné stanice Černá v Pošumaví (digitální minutové průběhy + denní úhrn); zdroj: ČHMÚ. Srážka se předpokládá konstantní po celé ploše povodí. Odtoková data byla získána z limnigrafické stanice Český Krumlov (závěrový profil povodí) ve formě stavu hladiny v lomových bodech a příslušných měrných křivek (ČHMÚ). Potenciální evapotranspirace byla spočtena z denních hodnot (srážky, sluneční svit, rychlost větru, vlhkost vzduchu, teplota vzduchu) podle Penmana. Z denního úhrnu potenciální evapotranspirace byl vytvořen hodinový průběh. Použité časové rozlišení pro všechny řady je jedna hodina. Snaha o kalibraci a validaci je pro data z období 2000 – 2002.

Použitelná data musí být všechna rastrového formátu se stejným rozlišením, tzn. 20m.



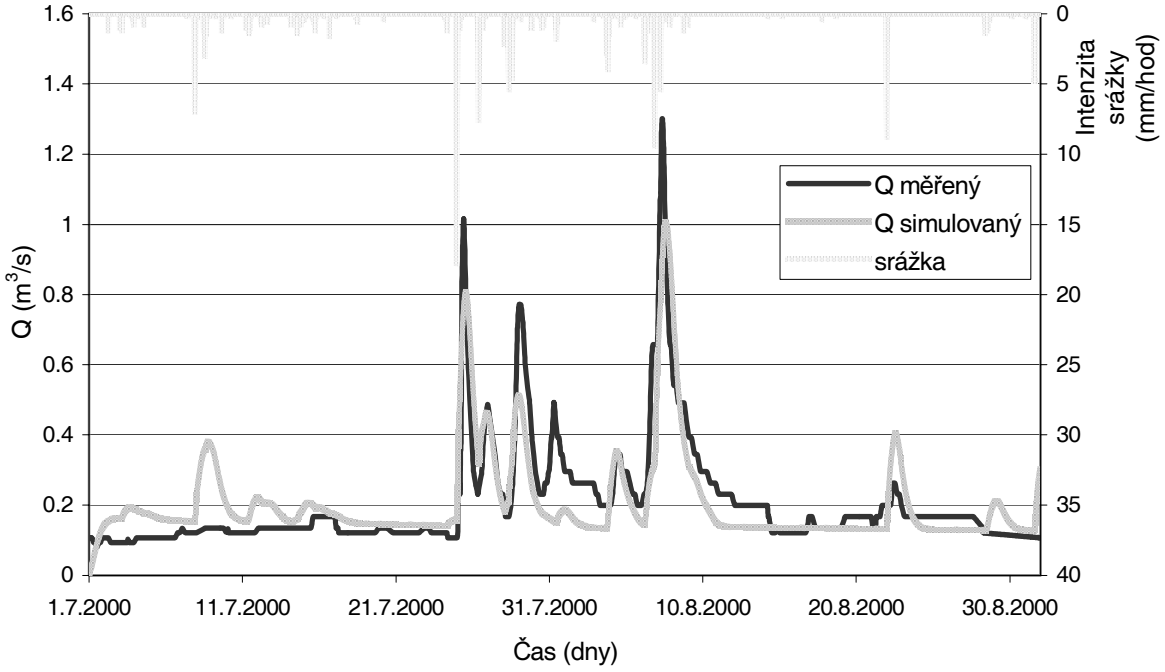
Obr. 3 Digitální model terénu použitý v modelu WetSpa



Obr.4 Mapa využití území

Dosažené výsledky

Po kalibraci globálních parametrů pro období 1.7.-31.8. 2000 bylo dosaženo hydrogramu odtoku (Obr. 5). Shoda s měřeným odtokem je poměrně dobrá. V současné době probíhá validace na dalších srážkách z let 2000-2002.



Obr. 5 Porovnání odtoku měřeného a simulovaného modelem WetSpa v období 1.7.-31.8. 2000

SHRNUTÍ

Nejdůležitější závěr je, že model WetSpa je použitelný pro dané povodí. Nejznatelnější rozdíly mezi modely WetSpa a WMS jsou:

- WetSpa je na rozdíl od WMS více fyzikálně založen, a tak je například schopen rozlišit jednotlivé složky povrchového odtoku.
- WetSpa je kontinuální a je schopen pracovat v delším časovém měřítku, kdežto WMS je model epizodní.
- WetSpa je o trochu náročnější na vstupní data (potřebuje např. navíc data k výpočtu potenciální evapotranspirace)
- WMS je více uživatelsky příjemné (např. výsledný hydrogram je možné ihned po skončení simulace jednoduše zobrazit)
- Kalibrace modelu WetSpa je díky osmi globálním parametrům poměrně náročný proces, a jeho postup by měl být v budoucnosti optimalizován.

Další zaměření

Zatím je aplikace modelu WetSpa v počátečním stadiu, ale jsou zřejmé další směry, kterými se ubírat:

- Dokončit kalibraci a validaci modelu na datech z období 2000-2002.
- Nalezení optimálního způsobu kalibrace a validace.
- Simulování různých scénářů vlivu retenčních prvků.
- Nalézt kritické zdrojové plochy v povodí, co se týče produkce povrchového odtoku ze srážky.
- Posoudit jednotlivé části povodí z hlediska jejich produkce povrchového odtoku a doby doběhu – posouzení nebezpečí souběhu a kumulace kulminací z jednotlivých podpovodí.
- Vytipování vhodných retenčních území v řešeném povodí s posouzením jejich kapacity.

- Posouzení vhodnosti způsobu úpravy a údržby koryt z hlediska jejich drsnosti, rychlosti proudění a setkávání kulminací odtokových vln z jednotlivých částí povodí.
- Nalezení kritických profilů v povodí a orientační návrh jejich úpravy s cílem minimalizace následných povodňových škod.
- Doporučení vhodných lokalit pro instalaci čidel systému včasné ochrany.
- Porovnání s výsledky z WMS.
- Podrobnější srovnání modelů včetně vyhodnocení jejich praktické využitelnosti.

Literatura

[1] Liu, Y.B., De Smedt F. (2004): WetSpa Extension – Documentation and User Manual, Department of Hydrology and Hydraulic Engineering, Vrije Universiteit Brussel, Belgium

[2] Uhlířová, K., Dostál, T. (2004): Aplikace modelu WMS v povodí Polečnice in Workshop 2004 – Extrémní hydrologické jevy v povodích

Autoři

Kateřina, Uhlířová, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Fakulta stavební, ČVUT v Praze, Thákurova 7, Praha 6, 166 29, uhlirova@fsv.cvut.cz

Tomáš, Dostál, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Fakulta stavební, ČVUT v Praze, Thákurova 7, Praha 6, 166 29, dostal@fsv.cvut.cz

Florimond, De Smedt, Department of Hydrology and Hydraulic Engineering, Vrije Universiteit Brussel, Pleinlaan 2, 1050 Brussels, Belgium, fdesmedt@vub.ac.be

Okke, Batelaan, Department of Hydrology and Hydraulic Engineering, Vrije Universiteit Brussel, Pleinlaan 2, 1050 Brussels, Belgium, batelaan@vub.ac.be

Poděkování

Řešení bylo podpořeno projektem KONTAKT (ČVUT Praha– VUB Brusel) "Structured approach to surface runoff generation and flood risk assessment“