

Modelování povrchového odtoku v prostředí ArcGIS Serveru

Kateřina PAVKOVÁ

Katedra geoinformatiky, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci,
Křížkovského 8, 771 47 Olomouc, Česká republika
pavkova.katerina@gmail.com

Abstrakt. Diplomová práce se zabývá vytvořením modelu pro výpočet povrchového odtoku v prostředí ArcGIS Serveru. Model byl realizován transformací metod CN-křivek a jednotkového hydrogramu. Jedná se o revoluční přístup ke zjišťování odtokových charakteristik v povodí, protože výpočet je aplikován na každý pixel rastrové vrstvy reprezentující povodí zvlášť. Zohledňuje tak prostorovou nehomogenitu daného terénu a výsledek výrazně zpřesňuje. Výsledné vrstvy (v závislosti na rozlišení vstupních vrstev) podrobně vykreslují oblasti ohrožené vyšším povrchovým odtokem, kde může docházet např. k zamáčení polí či svahovým posuvům. Výstupem je komplexní model pro výpočet parametrů povrchového odtoku a samotné míry povrchového odtoku. Je dostupný ve dvou variantách: 1.) Jako Geoprocessing služba ArcGIS Serveru fungující nad libovolným povodím v České republice, služba umožňuje uživatelům použít nástroj na svá vlastní data. 2.) Jako úkolová část webové aplikace nad modelovými daty. Součástí práce bylo ověření správné funkcionality nástroje nadmodelovými daty.

Klíčová slova: Modelování, povrchový odtok, ArcGIS Server, Python, CN-křivky, jednotkový hydrograf, Geoprocessing služba, webová aplikace.

Abstract. Modelling of Surface Runoff in ArcGIS Server

The aim of the diploma thesis was to create a complex model for computation a surface runoff as an ArcGIS geoprocessing tool. The calculation of a surface runoff was based on two methods: unit hydrograph and CN-number method. It is a revolutionary approach to identify the characteristics of runoff, because the computation is applied to each pixel in raster representing basin. And it can reflect the spatial nonhomogeneity of the terrain and the results of calculation are more accurate. The resulting layers (depending on the resolution of inputs) portray the areas of a higher risk of surface runoff in detail and locate places where may occur e.g. field drenching or mass movements. The output is a comprehensive model for calculating the parameters of surface runoff. It is available in two forms: 1.) as a Geoprocessing Service published on the ArcGIS Server and may be used over any basin in the Czech Republic. The service allows users to use the tool on their own data. 2.) as a ArcGIS Server Web Application, where tools are available as separate tasks over the model data. Part of this work was to verify tools functionality over the model data.

Keywords: Modelling, Surface Runoff, ArcGIS Server, Python scripting, CN-number method, unit hydrograph, Geoprocessing service, Web application

1 Úvod

Příroda je složitý systém s mnoha procesy a pochody. Hydrologické procesy patří k těm nejdůležitějším.

K jejich pochopení a zjištění vzájemných závislostí nám mohou pomoci jejich modely. V dnešní době jsou nejrůznější pochody simulovány převážně v počítačovém prostředí.

Počítačové modelování hydrologických jevů jde ruku v ruce s rozvojem geoinformačních technologií. Už první pokusy využívaly nejrůznější matematicko-fyzikálních modely a umožňovaly řešit širokou škálu problémů jako jsou například předpovídání průběhu a intenzity srážek či nebezpečí povodní.

Díky celkovému pokroku nejen v oblasti geografických informačních systémů (GIS) ale informačních technologií obecně je dnes již možné vytvářet velmi přesné modely a simulace. Hardwarová a softwarová omezení se neustále minimalizují a do modelů je možné zakomponovat více proměnných, provádět náročnější operace a také výstupy z modelů mohou být podrobněji vykresleny.

V této práci je vytvářen model pro výpočet povrchového odtoku za pomoci metody funkce jednotkového hydrogramu.

2 Cíl práce

Cílem diplomové práce je vytvoření modelového nástroje pro výpočet povrchového odtoku založeném na rozšířené metodice CN-křivek a jednotkového hydrogramu. Nástroj bude realizován v prostředí ArcGIS Serveru a bude dostupný v podobě webové aplikace nad modelovými daty a webové služby typu WPS (Web Processing Service) jako ArcGIS Geoprocessing služba umožňující uživatelům zpracovávat svá vlastní data.

Součástí práce je ověření funkcionality nástroje na vybraném modelovém území.

3 Hydrologické procesy v krajině

Voda je jedním z nejdůležitějších faktorů života na Zemi. Zaobírá přibližně 70 % jejího povrchu a v různých podobách a skupenstvích nekonečně cirkuluje. Hydrologické procesy v krajině v sobě zahrnují všechny jevy, kterými je uskutečňován oběh vody v přírodě. A ty mají vliv na celkový objem vody v krajině.

Oběh vody je ve fyzicko-geografické sféře podmíněn složitými geofyzikálními pochody, jako jsou výpar, přenos vodních par ovzduším jejich kondenzace a vznik srážek. Hybnou složkou oběhu vody je sluneční záření, které vyvolá vypařování vody převážně z hladiny oceánů. Prouděním vzduchu jsou vodní páry přenášeny na velké vzdálenosti nad kontinenty. Za určitých podmínek vodní páry v atmosféře kondenzují a padají dolů jako atmosférické srážky. Většina jich padne zpět do oceánů a jen asi 8 % se dostane nad kontinenty. Na nich se srážková voda stává součástí povrchové a

podpovrchové vody a odtéká zpět do oceánu. Rozlišujeme velký a malý koloběh vody. [8]

3.1 Odtok

Odtok je definován jako celkové množství vody, které odeče z povodí za jednotku času [2].

Dělí se na

- povrchový
- podpovrchový (hypodermický)
- podzemní

Dále na odtok přímý a základní [2], [15].

Přímý odtok je souhrnné označení pro povrchový a prosakující podpovrchový odtok, který stále nedosáhl hladiny podzemní vody během trvání deště nebo bezprostředně po něm.

Základní odtok zahrnuje pouze odtok vody podzemní po uplynutí určitého času nebo v období bez srážek. [15]

3.2 Povrchový odtok

Povrchový odtok je voda, která plošně stéká po zemském povrchu. Je to nejrychlejší část odtoku.

Může vzniknout třemi způsoby (podle [15]):

1. po překročení infiltrační kapacity půdy (tzv. hortonský odtok)
2. opětovnou „exfiltrací“ vody v nižších částech svahu
3. při překročení retenční kapacity (tzv. dunný odtok)

3.3 Modelování hydrologických jevů

Hydrologické procesy v krajině jsou složitým ale komplexním systémem. Základní jednotkou téměř všech hydrologických modelů je povodí. Existují 2 klasické typy modelů: deterministický a stochastický. Stochastický model dovoluje vstup náhodných elementů. Deterministický model je vždy přesně klasifikován, často podle popisu jednotlivých hydrologických procesů nebo jiných fyzikálních vlastností. [8]

4 Metody zpracování

Modelování povrchového odtoku vychází ze studie nazvané Storm Runoff Computation Using Spatially Distributed Terrain Parameters [17], česky „Výpočet povrchového odtoku s využitím prostorově distribuovaných parametrů terénu“, který vydalo Centrum pro výzkum ve vodních zdrojích při texaské univerzitě The University of Texas at Austin roku 1998 [10].

Studie podrobně popisuje, jak je možné zpřesnit výslednou hodnotu povrchového odtoku. Na model terénu je naložena mřížka rozdělující zkoumané povodí do stejných částí a každá charakteristika je vztažena právě k dané suboblasti většinou čtvercového tvaru. Tímto rozdělením na několikanásobně menší části je ve výsledku počítáno i s nehomogenitami celého zájmového území, které byly při výpočtu za povodí jako celek většinou shlazeny.

Jde o distribuovaný hydrologický model s částečným semi-empirickým přístupem. Jednalo se o práci pouze teoretickou, ale již samotná definice zadání a způsob výpočtu parametrů nad čtvercovou mřížkou k jakémukoli programovému zpracování přímo pobízí.

- Základem výpočtu konkrétních hodnot přebytečné vody odtékající z povodí je zde rozšířená **funkce jednotkového hydrogramu**. Jednotkový hydrogram je pravděpodobná odezva povodí na jednotkový efektivní déšť za určitou dobu jeho trvání. Rovnice (1). [17]

$$Q(t) = \sum_{i=1}^{i=n} \int_0^{\infty} A_i \cdot I_i(x) \cdot U_i(t-x) dx \quad (1)$$

kde: Q(t) ... přímý odtok z povodí (v čase t) [mm]

A_i ... plocha dílčí oblasti i (px) [m²]

I_i ... nadbytek srážek v dílčí oblasti i (px) [mm]

U_i ... funkce odezvy povodí v dílčí oblasti i (px)

- Pro výpočet hodnoty přímého odtoku byla zvolena rovnice založená na **metodě odtokových CN-křivek**. Metoda umožňuje odvození objemu přímého odtoku a kulminačního průtoku z návrhového přívalového deště.

5 Model odtoku

Model pro výpočet hodnot přímého odtoku v povodí byl sestaven podle zvolené funkce jednotkového hydrogramu. Konkrétně se jedná o volně připojitelný nástroj do programu ArcGIS Desktop v podobě ArcToolbox či o webovou aplikaci ArcGIS Serveru.

Byl napsán v syntaxi jazyka Python. A byl publikován na ArcGIS Server pomocí protokolu SOAP. Nástroj je dostupný pro uživatele softwaru ArcGIS Desktop i Server jako webová služba.

Funkčnost nástroje byla testována na modelových datech zvoleného zájmového území z povodí potoka Všeminka ve Zlínském kraji.

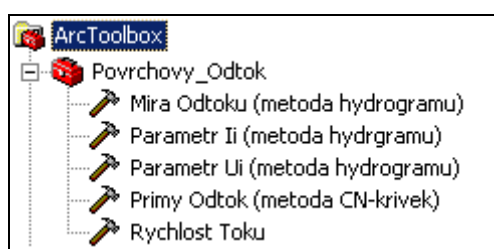
Nástroj zpracovává vrstvy s údaji o povodí ve formátu GRID a SHP.

Toolbox je plně funkční nad daty libovolného povodí v České republice. Tohle omezení je dáno českými názvy kategorií vrstvy landuse.

5.1 Toolbox pro výpočet parametrů odtoku

Výsledný toolbox je nazván *Povrchový_Odtok* a byl původně vytvořen lokálně. Obsahuje tři nástroje pro výpočet odtoku metodou jednotkového hydrogramu (*Parametr Ii*, *Parametr Ui* a *Míra Odtoku (metoda hydrogramu)*) a pomocné nástroje pro výpočet rychlosti toku (*Rychlost Toků*) a výšku přímého odtoku bez omezujících vlivů krajiny (*Primý Odtok (metoda CN-křivek)*)

Finálním i dílčím výstupem použitých nástrojů je jedna rastrová vrstva s vypočítanou hodnotou odtoku. Její rozlišení je limitováno rozlišením vstupní rastrové vrstvy DMR (Digitálního modelu reliéfu).



Obr. 1. ArcToolbox Povrchovy_Odtok s nástroji pro výpočet parametrů povrchového odtoku

Míra Odtoku (metoda hydrogramu) – kompletní transformace funkce jednotkového hydrogramu do podoby ArcToolbox nástroje. Vstupními parametry jsou vrstvy landuse, hydrologická skupina půd, hodnota CN-křivek, DMR (digitální model terénu), vrstvy vodních toků. Dále numerické hodnoty naměřených nebo předpokládaných srážek, uplynulý čas, průměrný průtok toků a celková rozloha povodí. Výslednou vrstvou je rastr, s konstantní sumarizovanou hodnotou míry odtoku v celém povodí a za daného času nad každým pixelem.

Parametr Ii (metoda hydrogramu) – dílčí část funkce jednotkového hydrogramu. Vstupy zahrnují vrstvu CN-křivek, DMR, vodních toků a číselné údaje o srážkách, průtoku a rozloze povodí. Výstupem je rastrová vrstva s hodnotou nadbytku srážek nad každým jednotlivým pixelem v povodí.

Parametr Ui (metoda hydrogramu) – také dílčí parametr funkce jednotkového hydrogramu. Výsledná rastrová vrstva udává koeficient funkce odezvy povodí, tedy vliv charakteru povrchu samotného na celkovou míru odtoku. Za vstupy je brána vrstva landuse, hydrologické skupiny půd, DMR, vrstva vodních toků a čas.

Přímý Odtok (metoda CN-křivek) – jednoduchý výpočet výšky přímého odtoku nad každým pixelem pomocí metody CN-křivek. Jde o maximální hodnotu povrchového odtoku bez jakéhokoli omezení složením povrchu a pouze s obecným vlivem terénu. Vstupními parametry jsou vrstva CN-křivek, DMR a srážky. Výsledný rastr obsahuje hodnoty neomezeného přímého odtoku.

Rychlost Toku – nástroj počítající ideální rychlost povrchového odtoku na základě znalostí sklonu terénu a druhu povrchu. Za vstupy jsou tedy brány vrstva landuse, vodních toků a DMR. Výstupem je raster udávající rychlost toku vody po povrchu jednotlivých pixelů.

Součástí toolboxu jsou také pomocné reklasifikační tabulky, které jsou uživateli skryty, a HTML help. Ten byl vytvořen podle ESRI HTML HELP šablony a obsahuje rovnici, podle níž je nástroj algoritmován spolu s jejím stručným objasněním, dále popis vstupních a výstupních parametrů a vrstev, o jaké datové typy se jedná, popřípadě tvar Command line syntax a Script syntax pro automatické použití nástrojů.

Toolbox je dostupný jako Geoprocessing služba na ArcGIS Serveru Katedry geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci. Nebo také jako úkolová část webové aplikace Modelování povrchového odtoku nad modelovými daty, která je taktéž dostupná na serveru Katedry geoinformatiky.

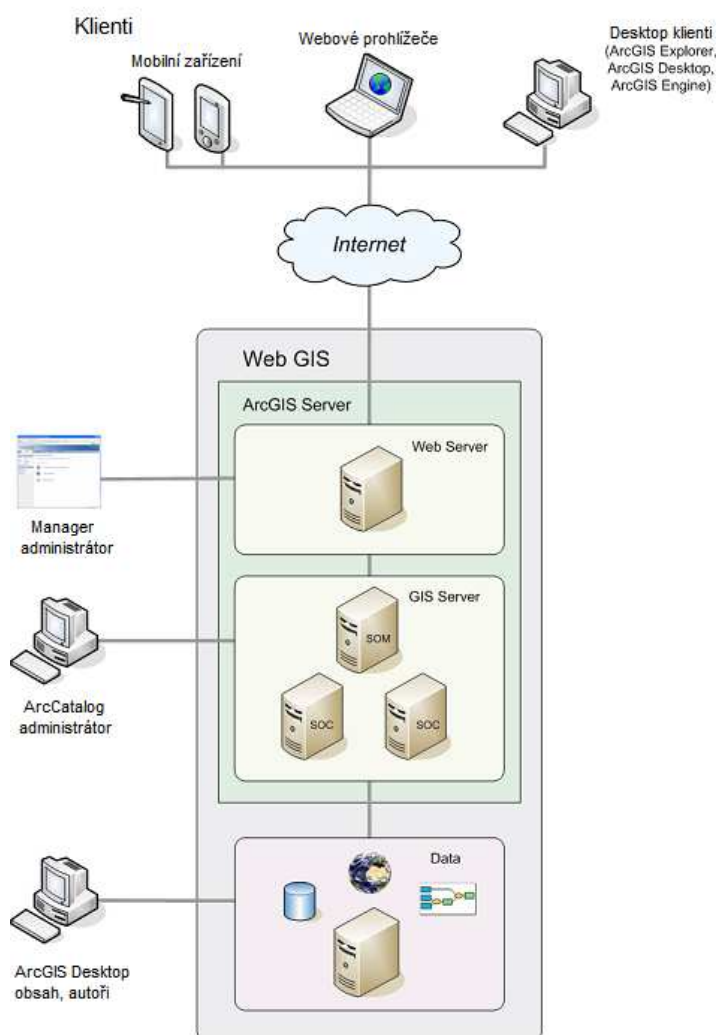
6 ArcGIS Server

ArcGIS Server je kompletní integrovaný serverově založený GIS se vzdáleným přístupem k aplikacím a službám, s vlastní možností si je doprogramovat

6.1 Architektura ArcGIS Serveru

- **GIS Server** má přístup ke všem GIS zdrojům jako jsou mapy, 3D zobrazení nebo lokalizační služby a poskytuje je v podobě aplikace klientovi. Server GIS se skládá ze dvou samostatných částí: Server Object Manager (SOM) a Server Object Container (SOC). Jak už název napovídá, SOM spravuje služby běžící na serveru. Při žádosti klienta o využití konkrétní služby, je ve skutečnosti SOM přímým poskytovatelem služby. SOM obsahuje jednu nebo více SOC. Mechaniky SOC hostí služby, které SOM spravuje. V závislosti na konfiguraci je možné spustit SOM a SOC na dvou různých strojích či SOC může běžet na několika přístrojích. [11]
- **Web Server** je správcem webových aplikací a služeb, které využívají procesů běžících na GIS Serveru.
- **Klienty** jsou webové, mobilní i desktopové aplikace, které mají možnost připojení k internetové nebo místní službě ArcGIS Serveru
- **Datový server** fyzicky obsahuje GIS zdroje a prostředky, které jsou publikovány na GIS serveru jako služby. Mohou jimi být mapové dokumenty, geolokátory, geodatabáze, toolboxy s nástroji apod.

- **Manager & ArcCatalog administrátory** pro zveřejnění vlatních GIS služeb a např mapových zdrojů jsou přístupné jak z ArcCatalogu tak ArcGIS Server Manageru.
 - Manager je webová aplikace k publikování služeb, správy GIS serveru, tvorbě webových aplikací, a zveřejňování map ArcGIS Exploreru na serveru.
 - ArcCatalog představuje hlavní uzel GIS serveru, který lze použít ke správě jednotlivých GIS serverů, jejich vlastností a služeb.
- **Autoři obsahu serveru v ArcGIS Desktop** jsou nejdůležitější komponentou systému ArcGIS Serveru. V ArcGIS Desktop tvoří samotný jeho obsah jako jsou mapy, 3D služby či geoprocessing nástroje, které je následně možné zveřejnit.



Obr. 2. Architektura systému ArcGIS Serveru, upraveno podle [11]

6.2 Instalace ArcGIS Serveru

Byla zvolena instalace na jeden stroj serveru Katedry geoinformatiky na základě hardware doporučení přímo od výrobce jako tzv. aplikace třetí strany pomocí rozhraní Microsoft .NET Framework, který využívá služeb REST API [12], [16]. Odtud je služba přístupná na Internet i Intranet počítačové sítě katedry. Administrátorem serveru je administrátor počítačové sítě Katedry geoinformatiky.

Po instalaci byl nastaven účet ArcGIS Server Manageru. Pro svou jednoznačnou identifikaci v síti byl server nazván *virtus.upol.cz*, byl mu přidělen konkrétní adresář a síťový port a definováno nastavení pro export dat ze serveru ve formátu XML [16]. Kompletní ArcGIS Server byl nejprve nainstalován a spuštěn lokálně ve virtuálním počítačovém prostředí Microsoft Windows XP.

7 Výstupy

Výstupem práce je komplexně sestavený model pro výpočet povrchového odtoku v podobě geoprocessing nástroje programu ArcGIS. Jedná se o tzv. empirický distribuovaný hydrologický model. Je založen na přesném matematickém vzorci metody jednotkového hydrogramu a znalostech fyzikálních veličin vstupních parametrů. Uživatel nemá možnost nahlédnout ani ovlivnit jeho funkčnost. Výpočet je aplikován na každou buňku povodí.

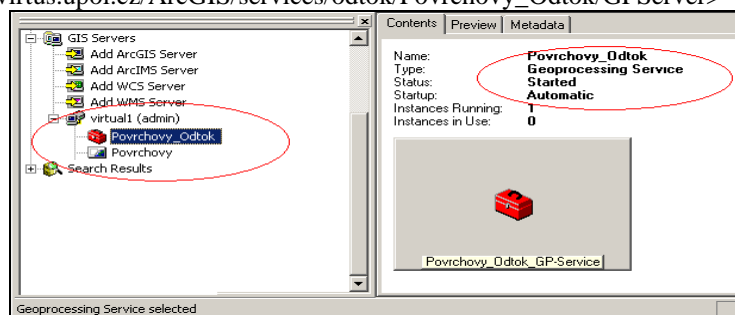
Model je dostupný ve dvou formách v prostředí ArcGIS Server: jako volně připojitelná Geoprocessing služba a webová aplikace.

Samostatným výstupem práce je také poster znázorňující princip fungování modelu povrchového odtoku.

7.1 Geoprocessing služba

První výstup diplomové práce představuje ArcToolbox s nástroji, nese název *Povrchovy_Odtok* a je dostupný jako Geoprocessing služba na serveru Katedry geoinformatiky na adrese:

http://virtus.upol.cz/ArcGIS/services/odtok/Povrchovy_Odtok/GPService



Obr. 3. Náhled v prostředí ArcCatalog na Geoprocessing službu *Povrchovy_Odtok*, která je dostupná na GIS Serveru

ArcToolbox *Povrchovy_Odtok* obsahuje všechny nástroje popsány v kap. 5.1. Funguje jako tzv. silný klient. Uživatel programu ArcGIS Desktop při svých analýzách nahrává na server svá vlastní data, operace probíhají na serveru a uživateli je zpět posílána výsledná rastrová vrstva, ovšem pouze jako dočasný image soubor, který po odpojení od služby zaniká. Uživatel si však vygenerovanou vrstvu může uložit lokálně.

7.2 Webová aplikace

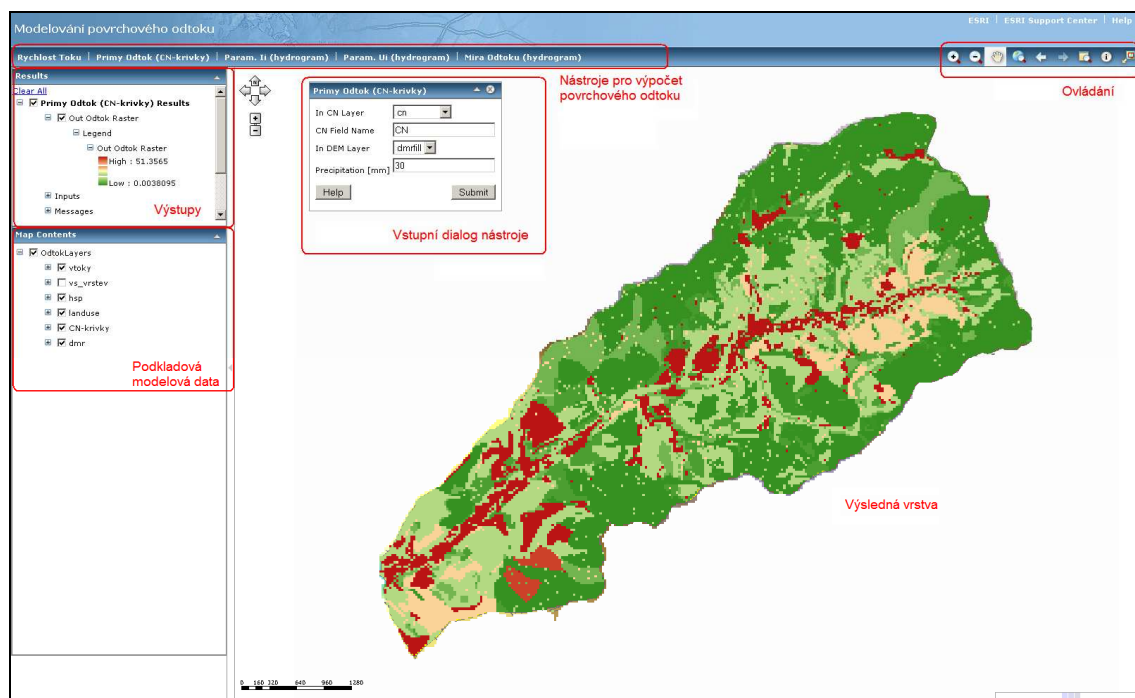
Druhý výstup diplomové práce představuje samostatná webová aplikace, která je publikovaná na serveru Katedry geoinformatiky na adrese:

<<http://virtus.upol.cz/PovrchovyOdtok.>>

Aplikace nazvaná Modelování povrchového odtoku obsahuje podkladová vstupní data z modelového povodí potoka Všeminka.

Jedná se o službu tzv. lehkého klienta. Připojení klienti nemají možnost vložit svá vlastní data a výsledná vrstva vždy zůstává na straně serveru. Mohou pouze ovlivnit parametry operací.

Stěžejní je panel s nástroji pro výpočet míry povrchového odtoku. V aplikaci jsou přítomny všechny nástroje obsaženy v Geoprocessing službě *Povrchovy_Odtok*, a to: *Rychlost Toku*, *Přímý Odtok (metoda CN-křivek)*, *Parametr Ii (metoda hydrogramu)*, *Parametr Ui (metoda hydrogramu)* a *Míra Odtoku (metoda hydrogramu)*.



Obr. 4. Náhled webové aplikace

Rozdíl ve funkcionalitě je u nástroje počítajícího celkovou míru povrchového odtoku metodou hydrogramu. Zatímco u Geoprocessing služby je pro tento nástroj nejprve nutné dva vstupní parametry Ii a Ui vygenerovat zvlášť, ve webové aplikaci jsou výpočty i těchto dílčích parametrů spojeny do jednoho nástroje. Výpočet jednotlivých parametrů je ale také možný. Vstupní vrstvy z modelového území jsou do každého nástroje načítány prostřednictvím nástrojového dialogu. K dispozici je také on-line HTML help.

Webová aplikace Modelování povrchového odtoku na příkladu modelových dat z povodí potoka Všecinka ukazuje, jak je možné modelovat základní charakteristiky povrchového odtoku. Přítomné nástroje jako *Rychlost Toků* či *Míra Odtoku (hydrogram)* apod. ilustrují závislost terénu a vstupních vrstev na čase a množství srážek, jejichž hodnoty je možné měnit.

8 Závěr

Cílem diplomové práce bylo na vytvoření modelu pro výpočet povrchového odtoku v prostředí ArcGIS Serveru. Model byl realizován transformací metod CN-křivek a jednotkového hydrogramu do podoby ArcGIS geoprocessing nástroje, který je dostupný jako webová aplikace nad modelovými daty a samostatná WPS (Web Processing Service) Geoprocessing služba umožňující uživatelům použít nástroj na svá vlastní data.

Výsledkem je komplexní model pro výpočet povrchového odtoku. Je dostupný ve dvou variantách. Jako Geoprocessing služba ArcGIS Serveru katedry geoinformatiky fungující nad libovolným povodím v České Republice; a jako úkolová část webové aplikace nad modelovými daty. Dalším výstupem je poster dokumentující princip fungování modelu povrchového odtoku postup při publikování na ArcGIS Server.

Reference

- [1] ANDERSSON, U. a NILSSON, D.: *Distributed Hydrological Modelling in a GIS Perspective – An evaluation of a MIKE SHE model*. Dept of Physical Geography, Lund University, Švédsko, Lund, 1998.
- [2] CUDLÍN P. a kol.: *Příčiny snížení vodohospodářské funkce lesa v krajině*. Závěrečná zpráva úkolu VaV 610/2/98, DÚ 01/07. Ústav ekologie krajiny AV ČR, České Budějovice, 1999, 84 s.
- [3] ESRI: *ArcGIS Server – manuál ke školení*, © 2006, 2007.
- [4] HRÁDEK, F., KUŘÍK, P.: *Hydrologie*. ČZU, Praha, 2002, 271 s.
- [5] CHARVÁT, K. et al. *Geografická data v informační společnosti*. VUGTK, Praha, 2007. 269 s.
- [6] JANEČEK, M. a kol.: *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. ISV, Praha, 2002, 201 s.
- [7] KREJČÍ, L.: *Ocenění krajinných segmentů metodou CN křivek*; diplomová práce. [soubor pdf]. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 2007, 103 s.

- [8] OLSSON, L. a PILESJÖ, P.: *Approaches to spatially distributed hydrological modelling in a GIS environment*. Kap 9 (str. 166-200) in Skidmore & Basiansson: *Environmental Modelling with GIS and Remote Sensing*, Taylor & Francis, London, 2002, 268 s.

Internetové zdroje:

- [9] *ArcGIS Server / Brochures and White Papers* [online] © ESRI 2010 [cit. 2010-04-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.esri.com/software/arcgis/arcgisserver/brochures-whitepapers.html>>
- [10] *Center for Research in Water Resources* [online]. [cit. 2010-04-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.crrw.utexas.edu/>>
- [11] *ESRI ArcGIS Server 9.3 for VMware Infrastructure Deployment and Technical Considerations Guide* [online]. © 2009 [cit. 2010-04-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.vmware.com/files/pdf/ESRI-DeploymentGuide-v1.0.pdf>>
- [12] ESRI: *ArcGIS Server 9.x High-Availability Configuration Testing Using Microsoft Network Load Balancing* [online, soubor pdf] © ESRI 2006 [cit. 2010-04-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.esri.com/systemsint/kbase/docs/arcgisserver9x-highavailability-config.pdf>>
- [13] *Hydrograph* – *Wikipedia* [online]. © 2010 [cit. 2010-04-26]. Dostupný z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Unit_hydrograph>
- [14] *HydroSkript - Hydrologie, Grundwassermodellierung, GIS, Klimatologie* [online]. © 2008 J. Dietrich & M. Schöniger [cit. 2010-04-26]. Dostupný z WWW: <http://www.hydroskript.de/html/_index.html>
- [15] *Michal Jeníček - osobní stránka: Modelování hydrologických procesů I. a II.* [online] © Michal Jeníček 2007-2010 [cit. 2010-04-26], dostupný z WWW: <<http://floodserv.natur.cuni.cz/jenicek/vyuka.php?akce=procesya&lang=cze>>
- [16] *Planning an ArcGIS Server site configuration* [online] © ESRI [cit. 2010-04-26]. Dostupný z WWW: <http://edndoc.esri.com/arcobjects/9.1/ArcGISServer/HelpPages/Server_site_config.htm>
- [17] *Storm Runoff Computation Using Spatially Distributed Terrain Parameters* [online]. © 1998 [cit. 2010-04-26]. Dostupný z WWW: <http://www.crrw.utexas.edu/gis/gishyd98/Runoff/webfiles/impr_uh/impr_uh.htm>