

# Modelování hydrologických a hydrogeologických procesů v systému GRASS

Juřikovská Lucie  
Geoinformatika  
VŠB - Technická univerzita Ostrava  
17. Listopadu 15  
708 33 Ostrava - Poruba  
E - mail: [jurikovska@seznam.cz](mailto:jurikovska@seznam.cz)

## Abstract

Hydrogeological modelling and hydrological modelling in catchments is considered to be of great importance for the understanding of hydro-ecological processes in various landscapes. This thesis describes hydrological and hydrogeological tools in the GRASS GIS and it also deals with hydrological modelling in the river Bělá area, which is a pilot site of the TRANSCAT project.

## Abstrakt

Hydrogeologické a hydrologické modelování povodí má velký význam především pro pochopení hydro-ekologických procesů probíhajících v různých typech krajiny. Tato práce popisuje hydrologické a hydrogeologické nástroje systému GRASS a zabývá se hydrologickým modelováním v povodí řeky Bělé, která je pilotní oblastí projektu TRANSCAT.

## Úvod

V posledním desetiletí jsme svědky enormního nárůstu výkonnosti počítačů, rozvoje geoinformačních technologií a všeobecného zkvalitňování programových prostředků. Tyto skutečnosti se odrazily i v oblasti geověd ve formě vzniku a vývoje kvalitnějších modelovacích a vizualizačních nástrojů potřebných pro simulaci a lepší poznání procesů probíhajících jak na povrchu, tak i pod zemským povrchem.

Rozvoj matematického modelování se velmi výrazně projevil i v oblasti hydrologie a životního prostředí. Existuje již celá řada matematicko-fyzikálních modelů, umožňujících na různých úrovních řešit širokou škálu problémů. Zvláště pak pokud se jedná o problematiku jakosti vody, stanovení povrchového odtoku z povodí, změny průtokového režimu a šíření znečištění v tocích i v podzemních vodách.

Předpovídání průběhu a intenzity srážek, průtokového režimu a jejich vlivu na vývoj povodňových situací, je v současné době velmi frekventovanou úlohou, neboť v posledních letech byl nejen v České republice zaznamenán poměrně častý výskyt extrémních srážko-odtokových jevů. Z důvodů ekonomických a ekologických je potřeba sledovat srážko-odtokové poměry i v obdobích, kdy k těmto extrémním jevům nedochází.

Stanovování faktorů ovlivňujících odtokové poměry v území jako jsou např. geomorfologické charakteristiky, typy vegetačního pokryvu, půdní typy, evapotranspirace, je ovlivněno chybou, která může dosahovat až několika desítek procent, a z tohoto důvodu existuje snaha o zpřesnění hydrologických modelů.

Významnou roli při stanovování faktorů odtokových poměrů a při řešení jejich modelování zde mají i geografické informační systémy. GIS slouží především jako nástroj vhodný pro tvorbu vstupních dat, zpracování prostorových dat a jejich analýzu, a pro zobrazení výsledků modelování. Jedním z takovýchto programových produktů, který umožňuje jak tvorbu vstupních dat a vizualizaci výsledků modelování, tak i poskytuje nástroje přímo pro hydrologické modelování, je systém GRASS GIS.

Cílem této práce je popsat možnosti a využití jednotlivých nástrojů systému GRASS pro hydrologické a hydrogeologické modelování a podle možností je vyzkoušet na vhodných datech a následně zhodnotit jejich vhodnost pro projekt TRANSCAT.

## Použité datové zdroje

- Digitální model terénu povodí řeky Bělé
- Bodová vrstva meteorologických stanic
- Vektorová vrstva Corine Landcover
- Srážkoměrná data pro období 21.4.-30.4.2004
- Naměřené hodnoty průtoku na řece Bělé ve stanici Mikulovice
- Vrstva vrstevnic z DMÚ25

## Postup realizace projektu

Postup práce spočíval v tvorbě potřebných vstupních vrstev, v nastavení nejvhodnějších parametrů pro model a v porovnání výsledků modelování s přímo naměřenými daty a s výsledky modelovacího programu HEC-HMS.

Jednotlivé dílčí kroky při hydrologickém modelování byly:

- vytvoření projektu v systému GRASS
- vytváření vstupních dat potřebných pro tuto práci
- převod dat do formátu požadovaného modelem CASC2D\_SED
- tvorba vstupních souborů pro model CASC2D\_SED
- kalibrace modelu
- verifikace modelu pro danou modelovou situaci
- porovnání výsledků modelování s modelem HEC-HMS

## Vytvoření projektu v systému GRASS

Pro tento projekt byla v systému GRASS vytvořena nová location a mapset pro povodí řeky Bělé s následujícími parametry:

- souřadnicový systém UTM, zóna 33
- referenční elipsoid WGS84
- geodetické datum WGS84
- rozlišení 30x30m

## Příprava dat

Pro tuto práci byly vytvořeny následující vrstvy:

- **digitální model terénu** - poskytnutý digitální model terénu při použití v modelu

CASC2D\_SED vykazoval chyby, proto byl vytvořen nový digitální model terénu z vrstvy vrstevnic z DMÚ25 metodou RST přímo v systému GRASS.

- **vrstva meteorologických stanic** - bodovou vrstvu meteorologických stanic, která byla v souřadnicovém systému S-42, bylo potřeba transformovat do zobrazení UTM pomocí příkazu *m.proj2*. Tento modul umí pracovat s přibližně 120 kartografickými zobrazeními a přepočítávat lze buď ručně jednotlivé páry souřadnic nebo dávkově seznam souřadnic uložený v textovém souboru.
- **maska povodí** - maska se obecně využívá pro skrytí určité části území, které pak nebude vstupovat do žádné operace, která bude v budoucnu s rastrem prováděna. Pro účely tohoto projektu byla vytvořena maska povodí řeky Bělé.
- **vrstva říční sítě** - k vytvoření vrstvy říční sítě byl použit modul *r.watershed*. Jedním z jeho výstupů je i mapa obsahující úseky vodních toků příslušejících jednotlivým povodím.
- **vrstva land use** - vektorová vrstva Corine Landcover byla reklasifikována na tři typy pokryvů - les, obdělávaná půda, pastviny. K těmto třem pokryvům byly přiřazeny podle tabulek příslušné koeficienty.
- **vrstva půdních typů** - v rámci této práce byla vytvořena vrstva obsahující čtyři základní půdní typy vyskytující se v oblasti povodí řeky Bělé - fluvizemě, kambizemě, podzoly, litozemě.

## Vstupní soubory pro model CASC2D\_SED

Pro model CASC2D\_SED byly vytvořeny dva textové vstupní soubory. První z nich obsahoval informace o cestě k adresáři, kde byla uložena všechna vstupní data, a dále informace o názvech výstupních souborů a místě jejich uložení.

## Kalibrace modelu

Kalibrací modelu je označováno nastavení takových parametrů modelu, aby se hodnoty vypočítané modelem, co nejvíce blížily hodnotám naměřeným v reálném světě. Při vyjadřování půdních vlastností se velice často naráží na problém jejich prezentace v mapách prostřednictvím polygonů s ostrými hranicemi, přičemž v realitě se tyto vlastnosti mění v prostoru spojitě. Model pracuje s jednotlivými fyzikálními vlastnostmi půdy, které jsou někdy velmi těžko získatelné z terénních měření (např. deficit půdní vlhkosti). Jednotlivým půdním typům byly proto přiřazeny empirické hodnoty podle literatury [1] a stejně jako u typů povrchů bylo vyzkoušeno několik jejich kombinací.

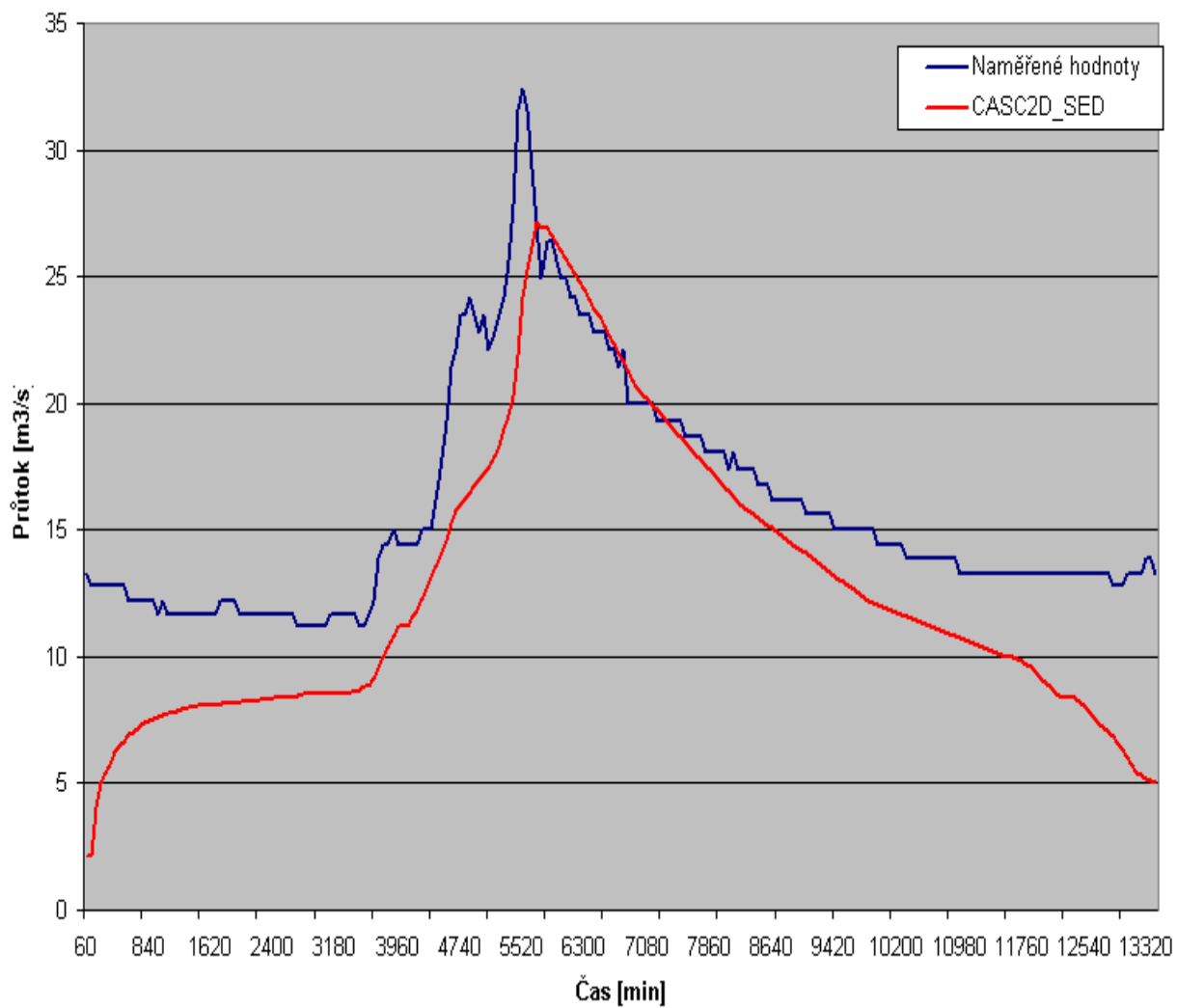
## Verifikace modelu

Verifikace, neboli ověření modelu, je založena na porovnání hodnot vypočítaných modelem a skutečných hodnot naměřených na konkrétním místě. K tomu lze využít celé řady statistických metod.

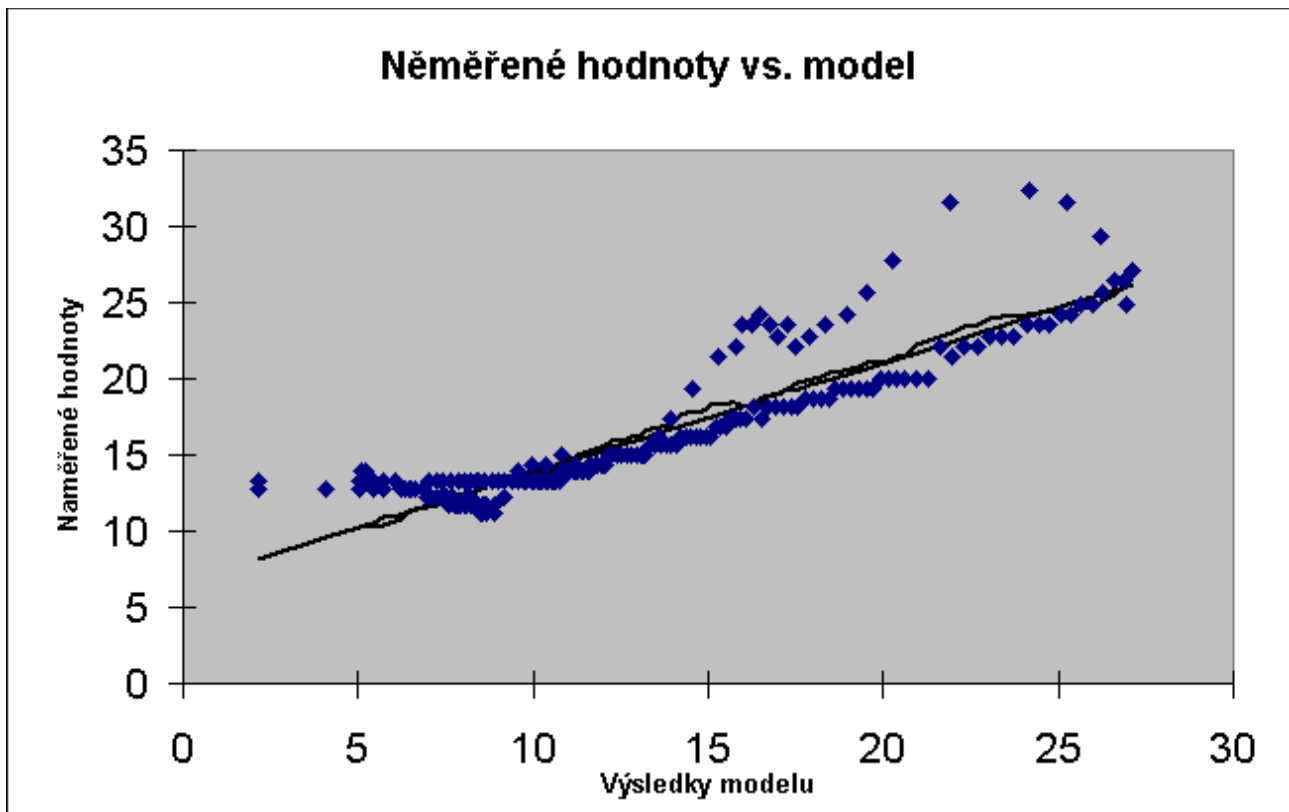
## Porovnání výsledků s naměřenými daty

Výsledky modelu byly porovnány s hodnotami průtoků naměřených ve stanici Mikulovice od 21.4.2004 do 30.4.2004 a s výsledky modelovacího programu HEC-HMS. Bylo provedeno grafické porovnání hodnot průtoků (obr.1) a regresní analýza (obr.2).

Porovnání naměřených hodnot průtoků ve stanici Mikulovice s výsledky modelu  
21.4.2004 - 30.4.2004



Obr. č. 1 Porovnání naměřených hodnot průtoků s výsledky modelu



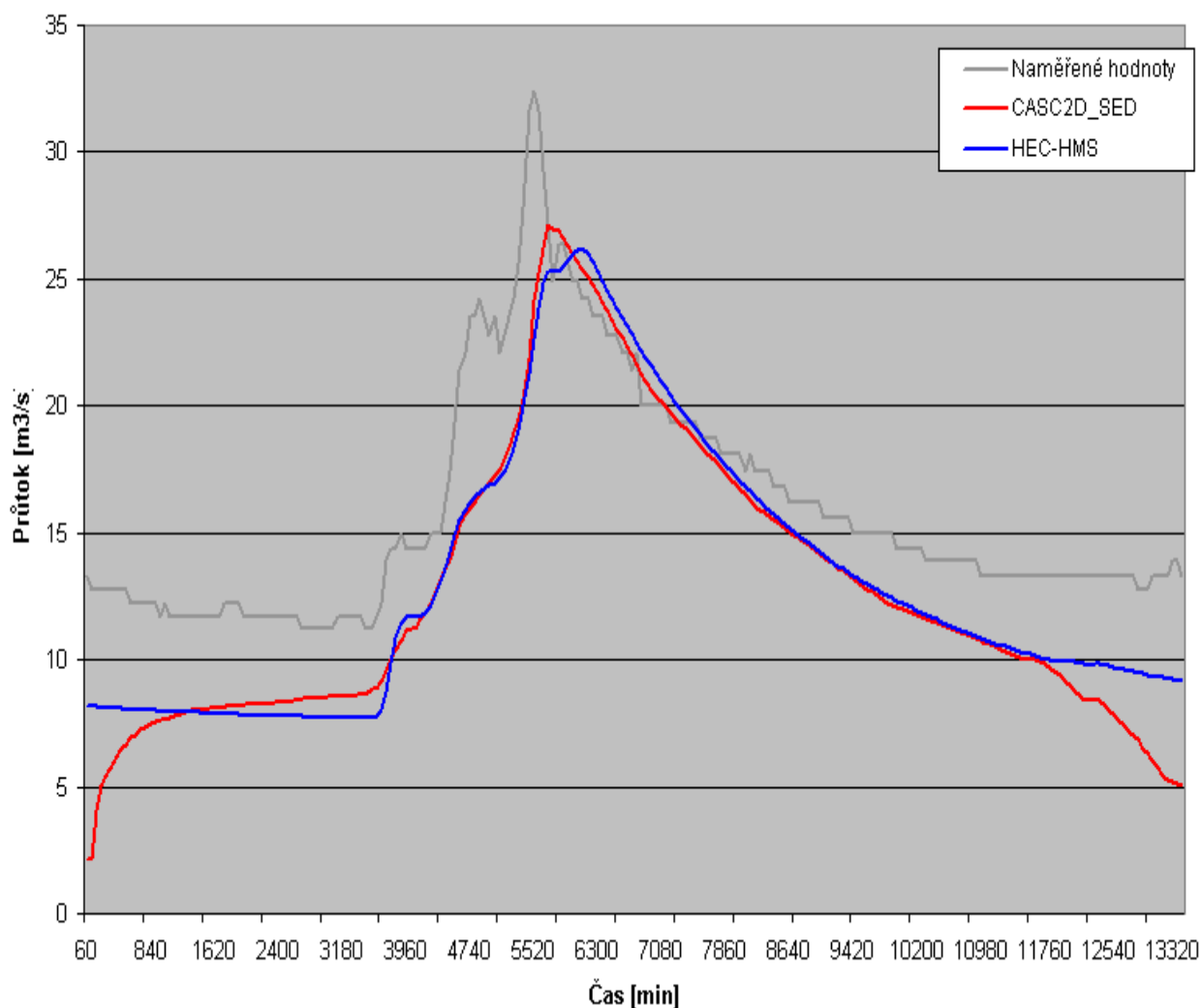
Obr. č. 2 Závislost hodnot modelovaných a měřených

Z porovnání hodnot naměřených ve stanici Mikulovice a hodnot modelu je patrné, že model především v prvních a posledních minutách simulace značně podhodnocuje. Tyto chyby mohou být způsobeny nesprávnou volbou vstupních údajů, jedná se zejména o informace o půdních typech (deficit půdní vlhkosti, sací výška) a typech povrchů (koeficient drsnosti povrchu), které nebyly k dispozici přímo z měření, ale pouze přiřazeny podle tabulek. V modelu také není možné zadat počáteční průtok, od kterého by probíhal výpočet. Hodnoty průtoku jsou počítány od nuly, proto trvá delší dobu než se přibližují naměřeným hodnotám.

## Porovnání výsledků s modelovacím programem HEC-HMS

Výsledky modelování byly zároveň porovnány i s výsledky modelovacího programu HEC-HMS. HEC-HMS je hydrologický simulační model, který umožňuje modelovat povrchový odtok v povodí. Na rozdíl od modelu CASC2D\_SED je v tomto programu možno zadat hodnotu počátečního průtoku. Z tohoto důvodu model dává přijatelnější výsledky v prvních a posledních minutách simulace. Porovnání výsledků obou modelovacích programů je na obr.3.

### Porovnání výsledků modelů HEC-HMS a CASC2D\_SED



Obr. č. 3 Porovnání výsledků modelovacích programů HEC-HMS a CASC2D\_SED

## Zhodnocení modelu CASC2D\_SED pro projekt TRANSCAT

V rámci projektu TRANSCAT jsou pro povodí řeky Bělé každou hodinu aktualizovány a přepočítávány hodnoty průtoku pro stanici Mikulovice. Aktualizované údaje o srážkách dodává Český hydrometeorologický ústav.

Hodnoty průtoku jsou automatizovaně přepočítávány pomocí programového prostředku HEC-HMS. Výstupem z tohoto modelu jsou pouze tabulkové hodnoty a grafické výstupy ve formě grafů. Model CASC2D\_SED na rozdíl od modelu HEC-HMS, kromě textového souboru se statistickými a tabulkovými hodnotami, umožňuje vytvářet časové série map (např. infiltrace, celkový odnos sedimentů, hloubka vody) ve formátu ASCII, které lze importovat a vizualizovat v systému GRASS. Tyto série časových map mohou být použity i pro vytvoření animace.

Výsledky modelování pro povodí řeky Bělé byly ovlivněny nedostatkem dostupných informací o půdních typech a o využití území. Tyto hodnoty byly odhadnuty podle empirických zkušeností a pro zvýšení kvality vstupních údajů a tím i zpřesnění výsledků by bylo vhodné získat tyto údaje měřením přímo v terénu.

## Závěr

Hlavní cílem této práce bylo vytvořit přehled hydrologických a hydrogeologických nástrojů v systému GRASS a v rámci možností tyto nástroje otestovat na datech pro povodí řeky Bělé.

Hydrologické modelování bylo otestováno na datech z povodí řeky Bělé pro období od 21.4.2004 do 30.4.2004. V průběhu práce bylo vytvořeno několik nových vrstev pro povodí řeky Bělé - digitální model terénu, vrstva půdních typů, vrstva využití území, vrstva říční sítě. Při tvorbě vrstvy půdních typů a využití území byly použity již existující mapové podklady a k nim přiřazeny hodnoty podle tabulek obsahujících parametry pro jednotlivé půdní typy a využití území. Pro další použití by bylo vhodné tyto vrstvy zaktualizovat podle současného stavu. Z výsledku modelu CASC2D\_SED je patrné, že model především v prvních a posledních minutách simulace značně podhodnocuje. Tato chyba může být způsobena nemožností zadat do modelu počáteční hodnoty průtoku, od kterých by probíhal výpočet.

Výhodou modelu je možnost nechat vytvořit velké množství výstupních údajů - jak tabulkové hodnoty, tak i grafické výstupy ve formě časových sérií map. Nevýhodou pak může být poměrně dlouhý výpočetní čas a množství požadovaných vstupních údajů.

V průběhu vytváření přehledu nástrojů pro hydrogeologické modelování docházelo k problémům způsobených především nedostatečným nebo zcela chybějícím popisem jednotlivých nástrojů. Ačkoliv je GRASS volně šiřitelný produkt, autoři nových modulů si své postupy pečlivě chrání.

## Literatura

- [1] Ogden, F.L.: CASC2D Reference Manual [online].
- [2] Čepický, J., Landová, J., Landa, M.: Praktická příručka ke geografickému informačnímu systému GRASS [online].
- [3] Integrated Water Management of Transboundary Catchments [online].
- [4] Landa, M.: Úvod do GRASSu [online].
- [5] Hofierka, J., Mitasova, H., Mitas, L.: GRASS and modeling landscape processes using duality between particles and fields [online].
- [6] O'Donnell, S.: Weather radar enhanced flash flood forecasting [online].
- [7] Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R., King, K.W.: Soil and water assessment tool theoretical documentation [online].
- [8] Ogden, F.L.: A brief description of the hydrologic model CASC2D [online].
- [9] Bonk, R.: Geografický informační systém GRASS [online], článek I - IX.
- [10] Mitasova, H., Mitas, L., Brown, W.M., Johnston, D.M.: DEM resolution, topographic analysis, and erosion modeling [online].
- [11] Máček, Z.: Hydrologie povodí [online].
- [12] Máček, Z.: Fluviální geomorfologie [online].