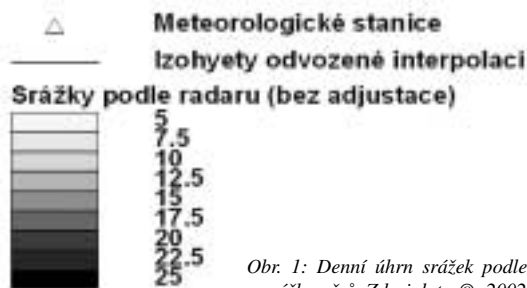
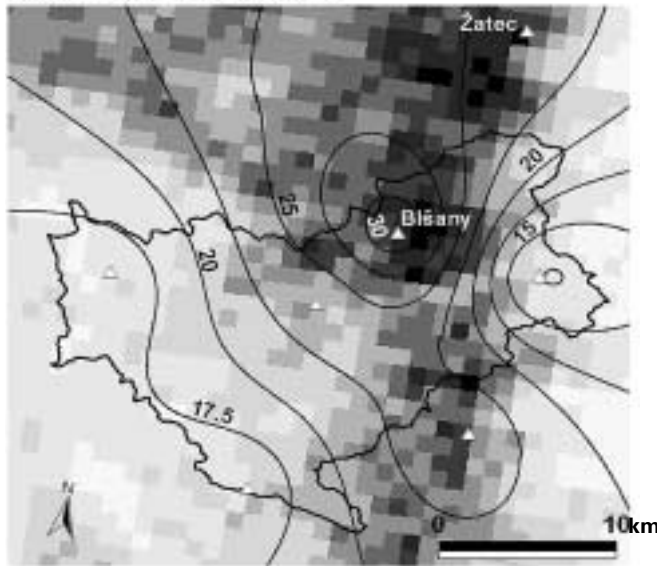


Erozní účinky srážkových situací v povodí Blšanky

Nadměrná eroze způsobuje nejen degradaci zemědělské půdy, ale i rychlé zanášení vodních nádrží. Posouzení dopadů hospodaření v území na erozi půdy a transport splavenin umožňují matematické simulační modely. Výhodou modelů je možnost rychle porovnat různé scénáře využití území (systém pro podporu rozhodování). Aby výsledky modelu odpovídaly skutečnosti a byly použitelné v praxi, je nutné testování v různých podmínkách na měřených srážkoodtokových událostech. Takové podmínky poskytuje povodí říčky Blšanky na Žatecku, kde od roku 1995 v rámci výzkumu Katedry fyzické geografie a geokologie PřF UK probíhá v Holedeči systematické měření plavenin.

Pro testování byl vybrán volně dostupný americký model AGNPS [1], který umožňuje předpovědět odtok a transport plavenin z celého povodí i jeho dílčích částí následkem jednotlivého deště i za delší období. Povodí je v modelu popsáno pomocí dílčích elementů (buněk), které mohou mít čtvercový i nepravidelný tvar. Podmínkou pro úspěšnou kalibraci modelu na větším povodí jsou dostatečně kvalitní vstupní data. To platí zejména pro srážky, které vykazují značnou časovou i prostorovou proměnlivost. V první části se ročníková práce zabývá především automatickým zpracováním a testováním kvality vstupních dat do modelu AGNPS s důrazem na srážky, ve druhé části je provedeno ověření a úprava algoritmu pro výpočet přímého odtoku v modelu AGNPS (metoda CN – křivek).

Děšť 5.9.2002: Celkový úhrn srážek (mm) podle radaru a srážkoměru



Obr. 1: Denní úhrn srážek podle radaru a srážkoměrů. Zdroj dat: © 2002 ČHMÚ

Vstupní data

- Vektorová data z DMÚ 25 (vrstevnice po 5 m, lesy, komunikace, vodní toky)
- Data o využití území: databáze CORINE Land Cover a DMÚ 25

- Data o půdách (BPEJ)
- Data o srážkových situacích (porovnáváno celkem 17 událostí s vysokými srážkovými úhrny):
 - Denní úhrn srážek (podle srážkoměru, 7 meteorologických stanic)
 - Časový průběh srážek (podle záznamu pozorovatele, 7 meteorologických stanic)
 - Hodinové úhrny srážek (podle mechanických ombrografů, 2 klimatologické stanice)
 - Radarové odhady srážek z meteorologického radiolokátoru Brdy (odvozeno z max. odrazivosti, testováno pro 3 situace z roku 2002, čtverce 1 x 1 km, časový krok 10 min.

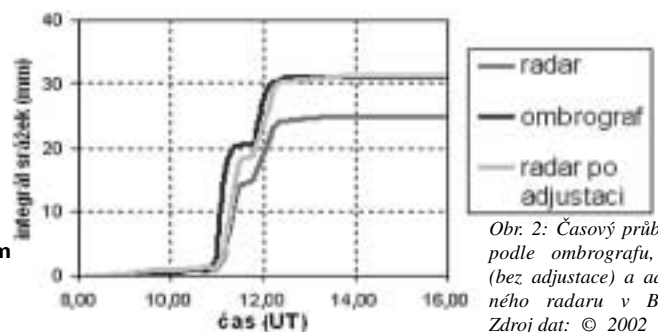
Použitý hardware:

PC – procesor AMD Duron, 851 MHz, 128 MB RAM

Použitý software:

- Arc View GIS 3.2, včetně extenzí 3D Analyst a Spatial Analyst
- USLE 2D (program z KU Leuven pro výpočet LS – faktoru)
- AGNPS (Agricultural non-point source pollution model)
- Matlab 6.0
- programovací jazyk C (pro převody formátů některých vstupních dat)

Časový průběh - Blšany (5.9.2002)



Obr. 2: Časový průběh deště podle ombrografu, radaru (bez adjustace) a adjustovaného radaru v Blšanech. Zdroj dat: © 2002 ČHMÚ

Zpracování vstupních dat do modelu AGNPS

Jako vstup do simulačního modelu AGNPS je nutné zadat řadu parametrů. Zvýšenou pozornost jsem věnoval automatickému zpracování a testování kvality dat, které je nutné do modelu AGNPS zadat pro každý element přímo uživatelem: Faktor délky a sklonu svahu (LS- faktor) a srážková data (výška a časový průběh deště, faktor erozní účinnosti deště).

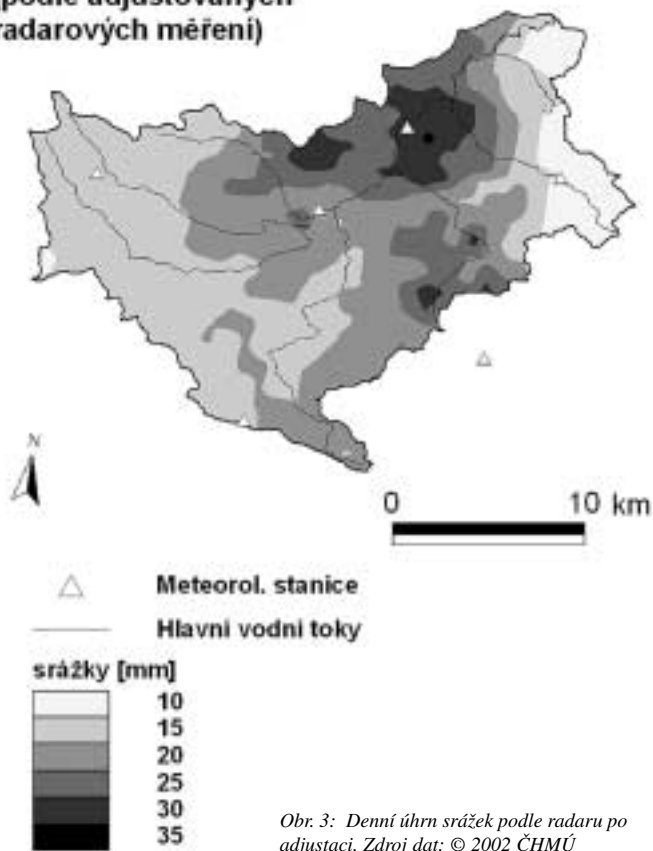
Výpočet faktoru délky a sklonu svahu

Faktor délky a sklonu svahu vyjadřuje náchylnost k erozi působením povrchového odtoku. Pro větší území s nepravidelným

mi svahy lze délku určit jako jednotkovou zdrojovou plochu odtoku na základě digitálního modelu terénu (DMT).

K výpočtu jsem využil volně dostupný program „USLE 2D“ [2]. Vstupem do programu je rastrový DMT a dále vrstva linií, neprostupných pro plošný povrchový odtok. Jako tyto linie jsem zvolil komunikace (silnice, železnice, cesty), hranice lesa a stálé vodní toky. Pro srovnání jsem provedl výpočet, kdy jsem z vrstvy neprostupných linií vyloučil polní a lesní cesty (vrstva zahrnuje okraje lesa, vodní toky, asfaltové silnice a železnice).

Děšť 5.9.2002: celkový úhrn srážek (podle adjustovaných radarových měření)



Obr. 3: Denní úhrn srážek podle radaru po adjustaci. Zdroj dat: © 2002 ČHMÚ

Zpracování srážkoměrných dat

Za účelem testování jsem vybral 17 maximálně dvoudenních srážkových událostí, kdy průměrný denní úhrn srážek na povodí přesáhl 15 mm a v každé stanici napršelo za 2 dny aspoň 10 mm. Takto vybrané situace jsou všechny z letního období (červen – září) a většinou se jedná o srážky konvektivního typu.

Výpočet s využitím pouze pozemních měření

Na základě informací o denním úhrnu a trvání deště ve srážkoměrných stanicích a digitalizovaných ombrogramů z klimatologických stanic jsem odvodil časový průběh (ombrogramy) pro každou stanici. Vycházel jsem z předpokladu, že časový průběh deště (ombrogram) ve srážkoměrné stanici má podobný tvar jako v nejbližší klimatologické stanici. Pro každou stanici jsem dále vypočetl faktor erozní účinnosti deště (R – faktor, EI30), který je součinem kinetické energie (E) a maximální 30minutové intenzi-

ty deště (I30). Posledním krokem bylo vytvoření map prostorového rozložení EI30 pro každou srážkovou situaci. K tomu jsem využil interpolaci (vážený součet IDW + RST) v programu ArcView Spatial Analyst podle postupu doporučeného v literatuře [3].

Výpočet s využitím pozemních i radarových měření

Tento způsob výpočtu jsem testoval pro 3 situace z roku 2002. Vstupní soubory tvoří čtvercová matice s okamžitou hodnotou tzv. maximální odrazivosti (v dBZ) pro každý čtverec 1 x 1 km. Měření probíhá každých 10 minut. Podle přibližného tzv. Z – R vztahu je možné odrazivost převést na okamžitou intenzitu deště [4].

Na základě předpokladu, že intenzita deště je v daném desetiminutovém úseku přibližně konstantní, jsem provedl integraci do hodinových, denních a celkových úhrnů srážek podle radaru.

Takto získaná data umožnila porovnání pozemních a radarových odhadů srážek pro veličiny:

- trvání deště podle každé srážkoměrné stanice a radaru
- hodnoty denních úhrnů srážky (viz obr. 1)
- časový průběh deště (hodinové úhrny) podle ombrogramu a radaru v 2 klimatologických stanicích (viz obr. 2)
- vypočtené hodnoty EI30 interpolací pozemních měření a podle radaru. EI30 jsem vypočetl z desetiminutových radarových odhadů přímo pro každý bod povodí (viz obr. 4)

Následně jsem provedl adjustaci, která kombinuje výsledky pozemních a radarových měření. Použitá metoda (tzv. optimální interpolace, [5]) vychází z porovnání celkového denního úhrnu deště ve srážkoměrných stanicích a odpovídajících radarových pixlech. Porovnáním adjustovaného denního úhrnu a původního úhrnu podle radaru se pro každý pixel získá konstanta, kterou se následně vynásobí veškeré desetiminutové, hodinové i denní úhrny srážek podle radaru. Výsledný datový soubor poskytuje realistický obraz srážkového pole, kde prostorové a časové rozdělení je dáno radarovým odhadem a celkové úhrny vycházejí z interpolace pozemních měření (viz obr. 2 a 3).

Ověření algoritmu pro výpočet přímého odtoku (metoda CN – křivek)

Důležitým faktorem, který ovlivňuje množství transportovaných plavenin následkem daného deště, je přímý odtok. Mapa rozložení odtokové výšky i celkový objem přímého odtoku je jedním z výstupů simulačního modelu AGNPS. Základem výpočtu v AGNPS je empirický vzorec: metoda CN – křivek, která umožňuje stanovit objem přímého odtoku pro každý bod povodí jako funkci úhrnu deště, předchozích vláhových podmínek, propustnosti půdy a využití území [6].

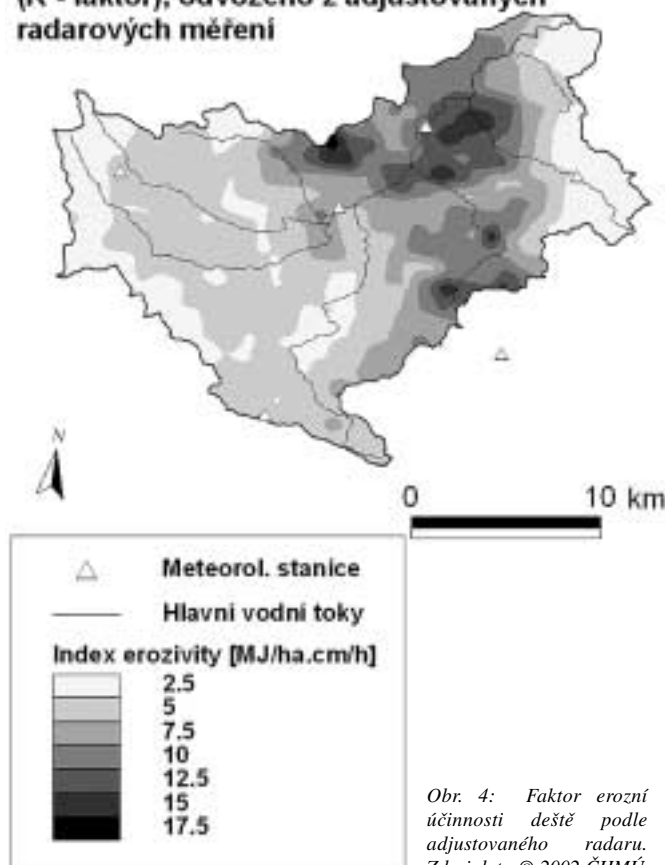
Aby bylo možné ověření na větším souboru dat, provedl jsem výpočet pro celkem 55 srážkových událostí z období 1995 – 2002 s následujícími dílčími kroky:

- Zařazení půd do hydrologických skupin podle rychlosti infiltrace na základě map BPEJ

- Vyhodnocení využití půdy a vegetačního pokryvu podle databází CORINE a DMÚ 25
- Vytvoření gridu CN – křivek
- Vlastní výpočet přímého odtoku pro každou srážkovou událost (na základě gridu CN – křivek, vrstvy předchozích vláhových podmínek a vrstvy celkového úhrnu deště)

Vypočtené hodnoty celkového objemu odtoku jsem porovnal s naměřenými hodnotami. Ty jsem stanovil podle údajů z limnigrafu v Holedeči separací hydrogramu.

Děšť 5.9.2002: index erozivní (R - faktor), odvozeno z adjustovaných radarových měření



Obr. 4: Faktor erozivní účinnosti deště podle adjustovaného radaru. Zdroj dat: © 2002 ČHMÚ

Srovnání ukázalo, že použitá metoda podhodnocuje objem přímého odtoku, zvláště pro méně výrazné srážkové události. Možným důvodem je relativně vysoký odhad počáteční retence v bezodtoké fázi, tj. úhrnu srážek, do jehož překročení nenastává přímý odtok. Proto jsem provedl kalibraci, ve které jsem výraz pro výpočet počáteční retence postupně měnil v přípustných mezích a jako konečný jsem stanovil takový výraz, pro který byl ukazatel shody naměřených a vypočtených hodnot (tzv. koeficient účinnosti předpovědi) maximální. Příkladem výsledku je obr. 5, který znázorňuje hlavní zdrojové plochy přímého odtoku při dešti ze dne 5. 9. 2002. Zde jsem jako podklad pro určení denního úhrnu srážek i předchozích vláhových podmínek využil adjustovaná radarová měření.

Výsledky

Výsledkem projektu jsou datové soubory, které mohou být přímo použity jako vstup do modelu AGNPS: vrstva LS – faktoru a pro

každý z porovnávaných 17 dešťů vrstva EI30 – faktoru erozivní účinnosti deště. Pro každý dešť je dále možné pomocí vytvořeného programu ve zvoleném okamžiku (po 10 min) získat informace o okamžité intenzitě v libovolném bodě povodí.

Testování výpočtu LS – faktoru

S klesající hustotou linií, neprostupných pro povrchový odtok, se zvyšují vypočtené hodnoty LS – faktoru. Při zahrnutí polních cest se výsledná průměrná hodnota LS – faktoru pro celé povodí snížila z 4,066 na 3,180. Podle zahraničních zkušeností vykazuje model AGNPS značnou citlivost na zadaný grid LS – faktoru. Proto je nutné upřesnit, které liniové prvky v krajině (silnice/polní cesty) skutečně tvoří neprostupné překážky pro povrchový odtok.

Výsledky zpracování srážkoměrných dat

Ačkoliv byla při výběru snaha o zpracování srážkových situací s rovnoměrným prostorovým rozložením (srážky v celém povodí), vykazuje většina porovnávaných událostí značnou variabilitu v čase a prostoru. Proto je důležité zadávat úhrn deště a EI30 do modelu AGNPS jako prostorově proměnlivou hodnotu.

Porovnání pozemních a radarových odhadů srážek

Trvání deště ve srážkoměrných stanicích je podle pozorovatele i radaru ve většině případů shodné. V 94 % termínů (po 10 min), kdy podle radaru přišlo, přišlo i podle záznamu pozorovatele. Z toho vyplývá, že informace o trvání deště lze úspěšně zjistit z radarového měření. Výhodou radarového měření je, že poskytuje informace o trvání deště nejen v meteorologických stanicích, ale i pro každý další bod ve čtvercové síti 1 x 1 km.

Denní úhrny deště ve srážkoměrných stanicích a podle radaru řádově souhlasí, liší se o faktor 0,5 až 2. Podobné rozdíly jsou i v určení hodinových úhrnů a hodnot EI30 (viz obr. 2 a 4). Po adjustaci radarových měření (optimální interpolace) jsou rozdíly v celkových úhrnech minimální, snižují se i rozdíly v hodinových úhrnech a EI30. Celkově radarová data poskytují realistický obraz o skutečném rozložení srážkového pole během hodnocených událostí. Na mapě, vytvořené s využitím radarových měření, se objevují výrazná srážková jádra, která nebyla srážkoměry zachycena (viz obr. 3).

Ověření algoritmu pro výpočet přímého odtoku (metoda CN – křivek)

V poslední části jsem provedl testování výpočtu objemu přímého odtoku metodou CN – křivek, který je využit v modelu AGNPS. Původní vztah dává poměrně uspokojivé výsledky pro nejvýraznější srážkoodtokové situace, pro ostatní události je vypočtený přímý odtok výrazně podhodnocen. Jednoduchá kalibrace, kterou jsem provedl, umožnila dosažení velmi dobré shody vypočtených a naměřených hodnot.

Přínos a další využití výsledků projektu

Na ročníkovou práci, která se zabývala zejména přípravou

nejdůležitějších vstupních dat do modelu AGNPS, bude navazovat magisterská práce, jejíž hlavní náplní bude vlastní aplikace modelu v povodí Blšanky včetně výpočtu odnosu plavenin z dílčích částí povodí. Pro úspěšnou kalibraci modelu bude nutné zahrnutí většího počtu srážkoodtokových událostí, které mohou být automaticky zpracovány metodami použitými v ročníkové práci. Zejména by bylo vhodné do výběru zahrnout i situace v zimě a mimo vegetační období, které se vedle letních přívalových dešťů výrazně podílejí na transportu plavenin v Blšance. Vhodným zdrojem informací pro rekonstrukci prostorového rozložení srážek se ukázala být radarová data. Proto by bylo výhodné ve větší míře využít těchto dat, zejména pro intenzivní letní srážky lokálního charakteru. Dále bude nutné provést terénní průzkum a vlastní měření, které umožní výrazné zpřesnění dalších vstupních parametrů. Podrobnější informace o výpočetních postupech, použitých v ročníkové práci, i aktuální výsledky výzkumu v povodí Blšanky jsou dostupné na Internetu [7].

Použití zdroje dat

- Vektorová data z DMÚ 25 (vrstevnice po 5 m, lesy, komunikace, vodní toky)
- Data o využití území: databáze CORINE Land Cover a DMÚ 25
- Data o půdách (BPEJ – Bonitované půdně ekologické jednotky)
- Data o srážkových situacích (porovnáváno celkem 17 dešťů s vysokými srážkovými úhrny:
 - Denní úhrn srážek (podle srážkoměru, 7 meteorologických stanic)
 - Časový průběh srážek (podle záznamu pozorovatele, 7 meteorologických stanic)
 - Hodinové úhrny srážek (podle mechanických ombrografů, 2 klimatologické stanice)
 - Radarové odhady srážek z meteorologického radiolokátoru Brdy (odvozeno z max. odrazivosti, testováno pro 3 situace z roku 2002, čtverce 1 x 1 km, časový krok 10 min.
- Denní průtoky na Blšance v Holedeči, odvozené z měřených vodních stavů (1999 – 2002)

Seznam literatury

- [1] model AGNPS (AGNPS Homepage, 2003). Dostupné na: <http://msa.ars.usda.gov/ms/oxford/nsl/AGNPS.html>
- [2] Desmet, P., Govers, G. (1998): Program USLE2D pro výpočet LS-faktoru. Dostupné na: <http://www.kuleuven.ac.be/geography/frg/leg/index.htm>

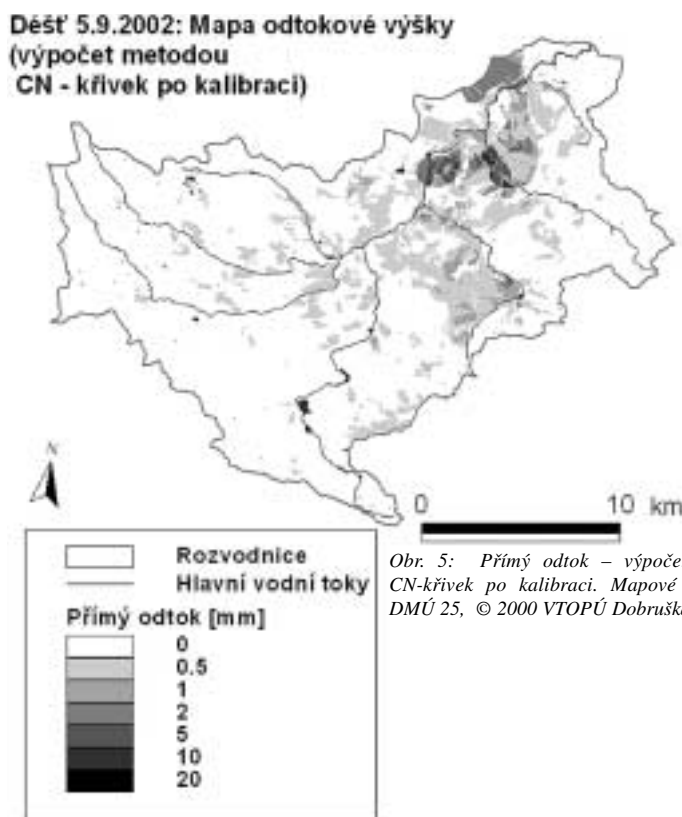
[3] Kohout, J. (2003): Zpracování a prezentace srážkových dat pomocí GIS systému GRASS. Dostupné na: http://gis.vsb.cz/Publikace/Sborniky/GISacek/GISacek_2003/Sbornik/Kohout/kohout.html

[4] Oddělení radarových měření ČHMÚ. <http://www.chmi.cz/meteo/rad/index.html>

[5] Sokol, Z., Řezáčová, D., Pešice, P. (2003): Odhad bodových i plošných srážek s využitím srážkoměrných a radarových dat. Meteorologické zprávy, 56, č. 1., s. 1 - 12.

[6] Janeček, M. a kol. (2002): Ochrana zemědělské půdy před erozí. ISV, Praha, 201 s.

[7] Kadlec, J. (2004): Modelování erozních procesů během srážkových situací v povodí Blšanky (ročníková práce). Dostupné na: <http://www.blsanka.unas.cz/index.html>



Obr. 5: Přímý odtok – výpočet metodou CN-křivka po kalibraci. Mapové podklady: DMÚ 25, © 2000 VTOPÚ Dobruška

Jiří Kadlec, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie.
Kontakt: kadlec2@natur.cuni.cz