

GIS a pozemkové úpravy

GEODATA (digitální modely terénu)

Josef Krása

Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství,
Fakulta stavební
ČVUT v Praze



Výukové podklady: <http://storm.fsv.cvut.cz> a odkazované podklady během semestru

Přednáší: Doc. Ing. Josef Krása, Ph.D. (B611) josef.krasa@fsv.cvut.cz Garant předmětu

<http://storm.fsv.cvut.cz/123456.php?id=2detaily&uzivatel=krasa>

<http://storm.fsv.cvut.cz/123456.php?id=3vypsana-temata-bp>

Ing. Kateřina Jusková (Katedra geomatiky)

Ing. Petr Kavka, Ph.D.

přednáší dílčí etapy procesu PÚ

přednáší technické řešení PSZ

Cvičení: Ing. Miroslav Bauer - B670 Miroslav.bauer@fsv.cvut.cz

Ing. Jan Devátý - B670 jan.devaty@fsv.cvut.cz

Koncepce předmětu: přednáška út 18:00 – Pozemkové úpravy (včetně návrhu v GIS)
přednáška st 14:00 – Geografické informační systémy obecně

cvičení čt 3h – Využití GIS pro krajinné analýzy v ŽP a návrhy PSZ

Podklady ke cvičení budou průběžně sdíleny na webu – zaslány na Váš e-mail

(Zjednodušená) Reprezentace polí a objektů v GIS

→ Základní metody počítačového grafického zobrazení:

RASTR

VEKTOR

V principu mohou být jak pole tak objekty zobrazeny rastrově i vektorově. V praxi však RASTR slouží k reprezentaci polí, VEKTOR k popisu objektů (rastrové „objekty“ nejsou jako objekty v digitálním přepisu využívány a chovají se opět jako pole, pozná se to z atributů a databázových možností práce s nimi)

RASTR

- Prostor je definován sítí bodů (obvykle čtvercovou) = pixely (picture elements, nebo cells = buňky)
- Veškeré prostorové rozdíly jsou vyjádřeny změnou velikosti atributu přiřazeného každému bodu

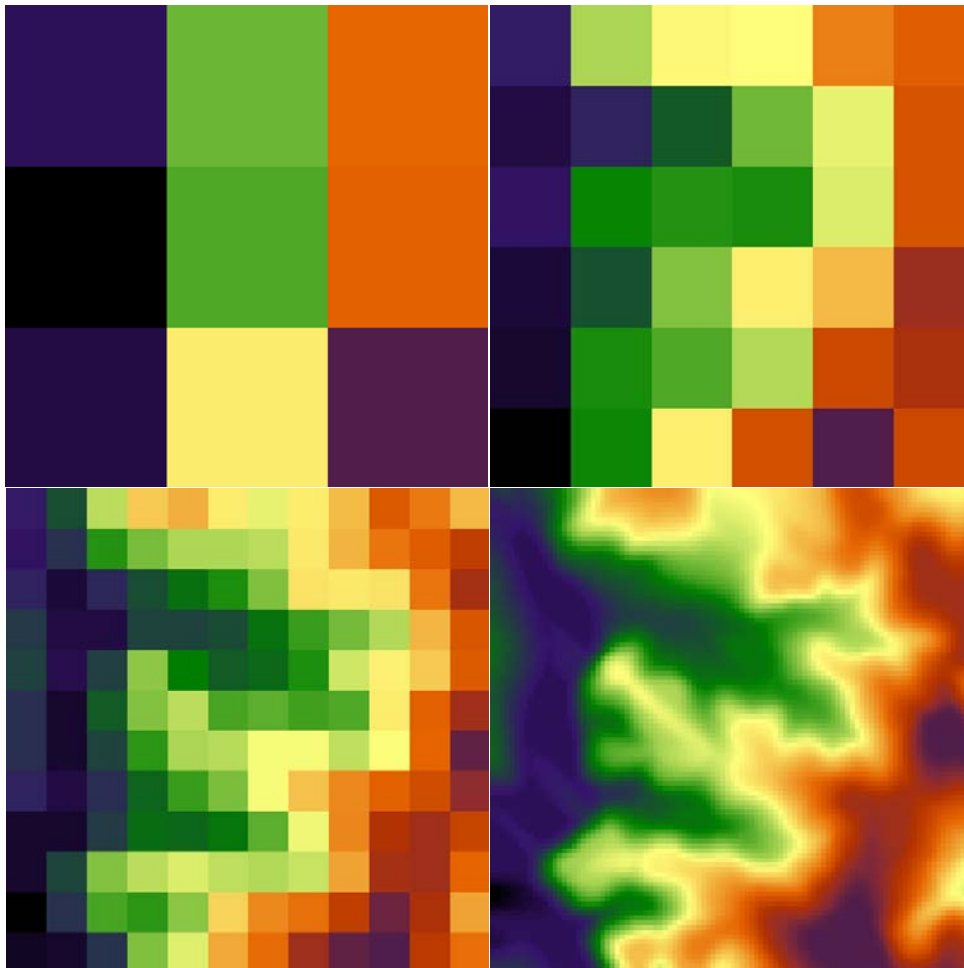
Zdroje

- Skenování – povrch papírové mapy, nebo přímo světa snímán po řádcích
- Digitální snímání (fotografie) – předloha zachycena přímo na rastrovou síť
- Typický zdroj rastrových dat: DPZ, digitální fotogrammetrie

POZOR: Čtvercové buňky je možno promítnout pouze na rovinu – veškerá zkreslení povrchu je třeba odstranit projekcí a ortorektifikací (později)

RASTR – některé problémy

- **Omezené rozlišení – objemová náročnost roste s přesností**



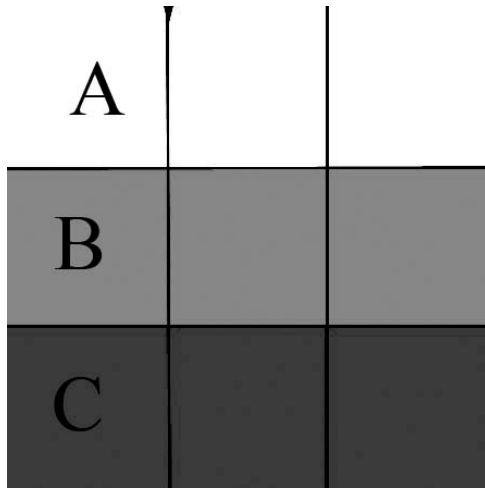
Rozlišení Velikost

160 m	1 MB
80 m	4 MB
40 m	16 MB
20 m	64 MB
10 m	256 MB
5 m	1024 MB

RASTR – objemová náročnost

- Velikost souboru dle číselného zápisu dat
 - byte = $1 \times n$ 8 bit
 - integer = $2 \times n$ 16 bit
 - float = $4 \times n$ 32 bit

- Velikost souboru dle způsobu kódování (zápisu)
- (ASCII, binary, bez komprese, různé komprese)



-row by row coding

AAABBBCCC → 9 znaků pro zápis

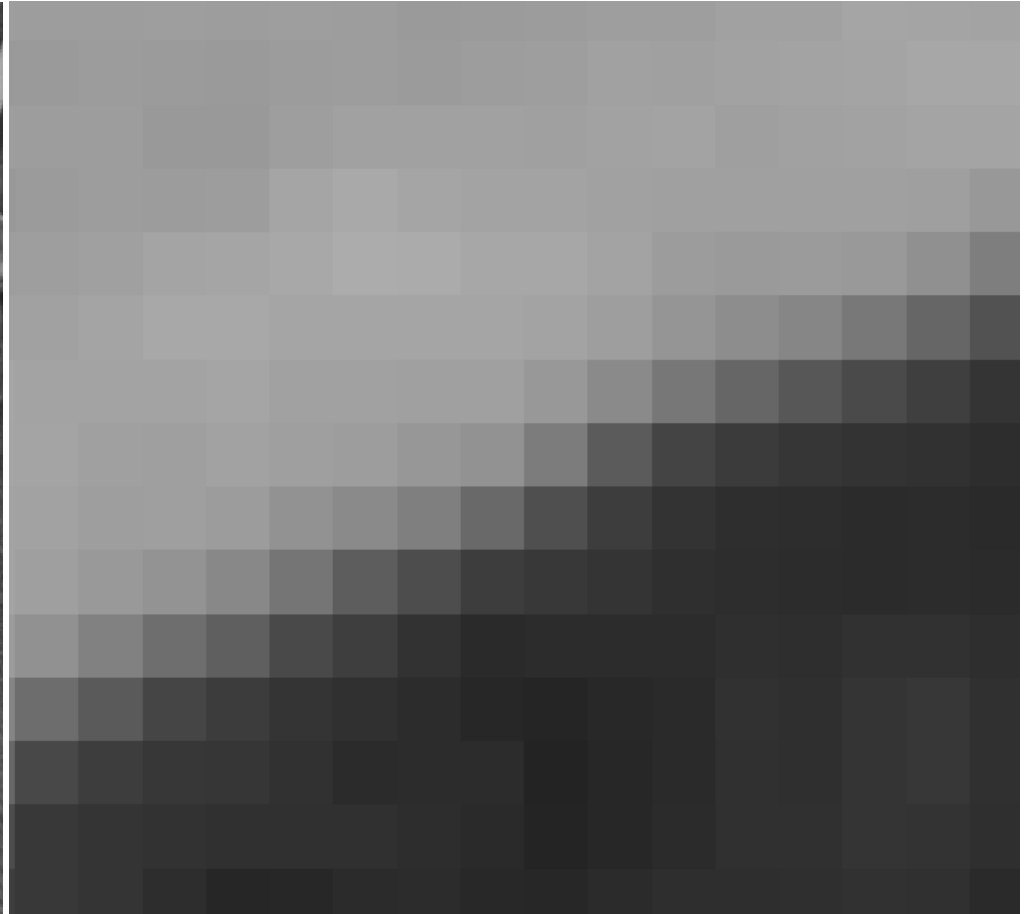
-run length coding

3A3B3C → 6 znaků pro zápis

GIS software obvykle podporují pouze práci s nekomprimovanými rastrovými soubory – objem dat je tedy zásadní proměnnou.

RASTR – některé problémy

- Omezené rozlišení – objemová náročnost roste s přesností
- **Omezené rozlišení snímání – nepřesné hranice objektů**



RASTR – některé problémy

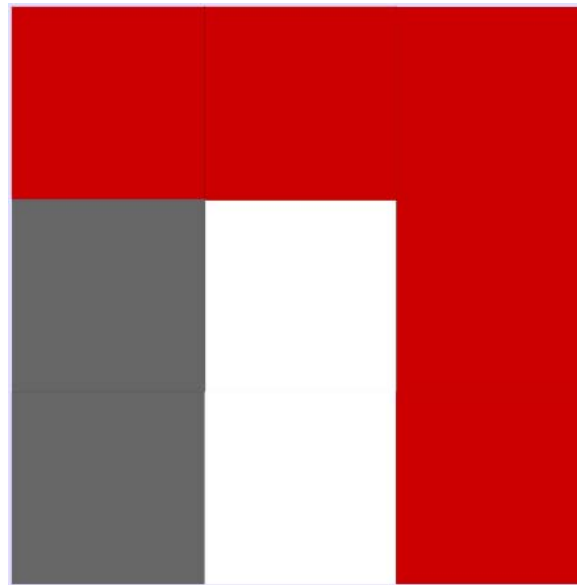
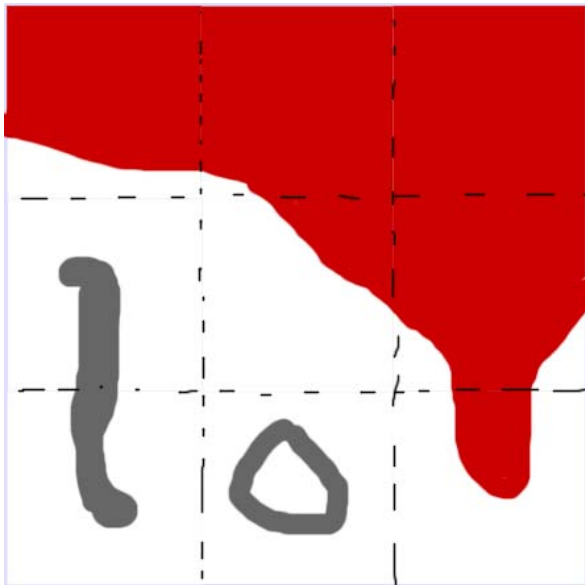
- Vyjádření objektů kategoriemi – definice hraničních pixelů při převzorkování různými algoritmy (nejbližší sused, bilineárně, bikubicky, ...)



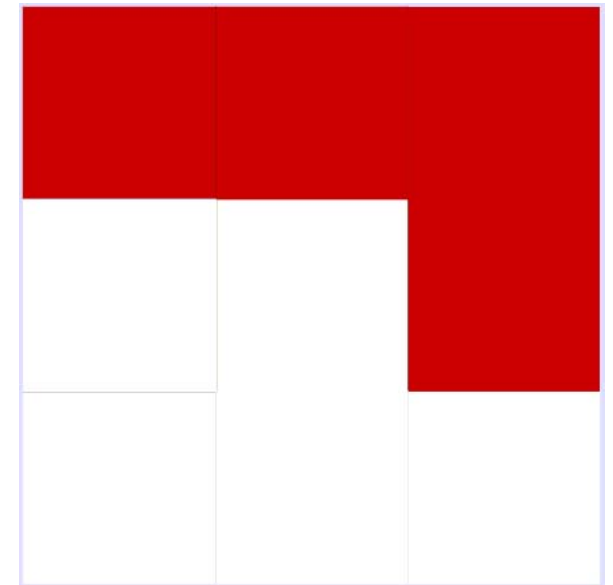
RASTR – některé problémy

- Vyjádření objektů kategoriemi – definice hraničních pixelů
- **Převod vektoru na rastr – příslušnost cílové buňky**

Dle těžiště
výsledného
elementu

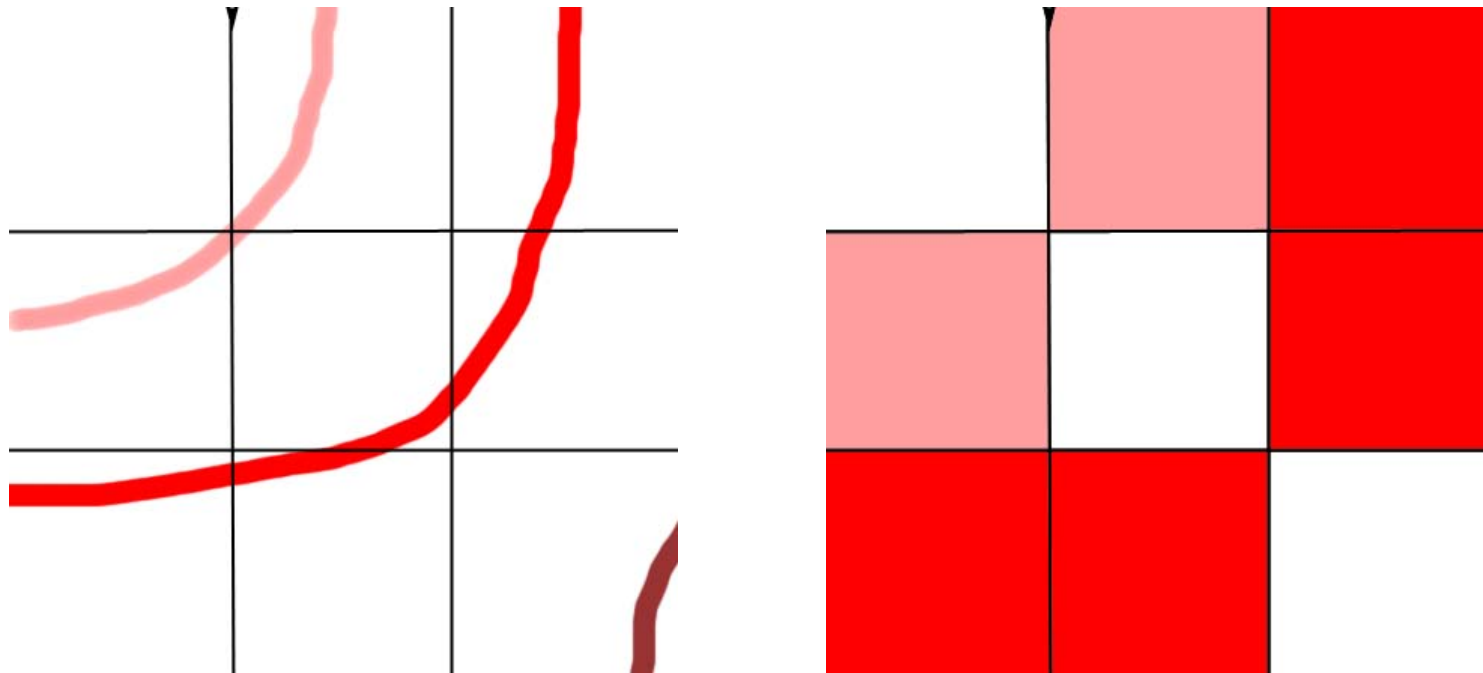


Dle plochy
původního
objektu



RASTR – některé problémy

- Vyjádření objektů kategoriemi – definice hraničních pixelů
- **Převod objektu na rastr – příslušnost cílové buňky**
 - Dle těžiště výsledného elementu
 - Dle plochy původního objektu
 - U linií – např. zda kříží osu buňky, ...



VEKTOR

- Prostor je definován **bezrozměrnými** body (vertex) s přesným (x,y) umístěním a liniemi jako přímými (obvykle) spojnicemi těchto bodů.
- Plochy jako uzavřené obrazce uvedených bodů

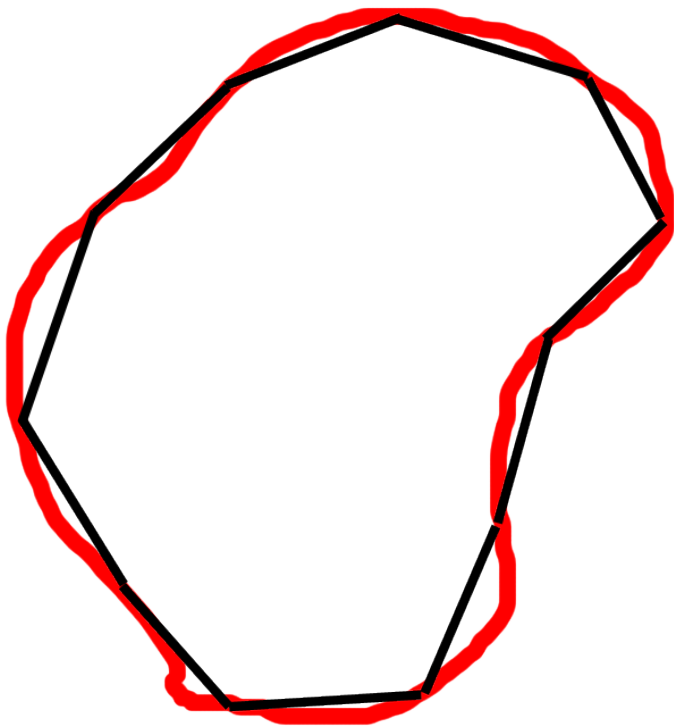
Zdroje

- Kresba – povrch papírové mapy, nebo snímku ručně digitalizován perem s digitálním záznamem pozice bodů
- Vektorizace – automatický převod rastru na vektor a následná úprava
- Typický zdroj vektorových dat: CAD projekce, tablet=digitalizace

Vektorová data často považována za „přesnější“ díky přesné lokalizaci vertexů, ve skutečnosti vše závislé na přesnosti analogových zdrojů a přesnosti přístupu i objemu dat

VEKTOR – reprezentace objektů

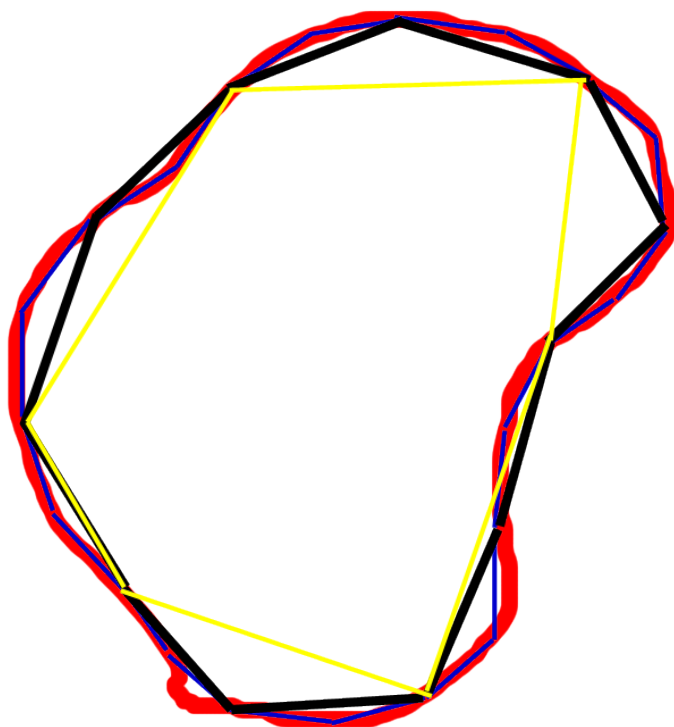
- Prostor je definován **bezrozměrnými** body (vertex) s přesným (x,y) umístěním a liniemi jako přímými* spojnicemi těchto bodů.
- Plochy jako uzavřené obrazce uvedených bodů



Vektorová data často považována za „přesnější“ díky přesné lokalizaci vertexů, ve skutečnosti vše závislé na přesnosti analogových zdrojů, přesnosti zpracování i objemu dat

VEKTOR – reprezentace objektů

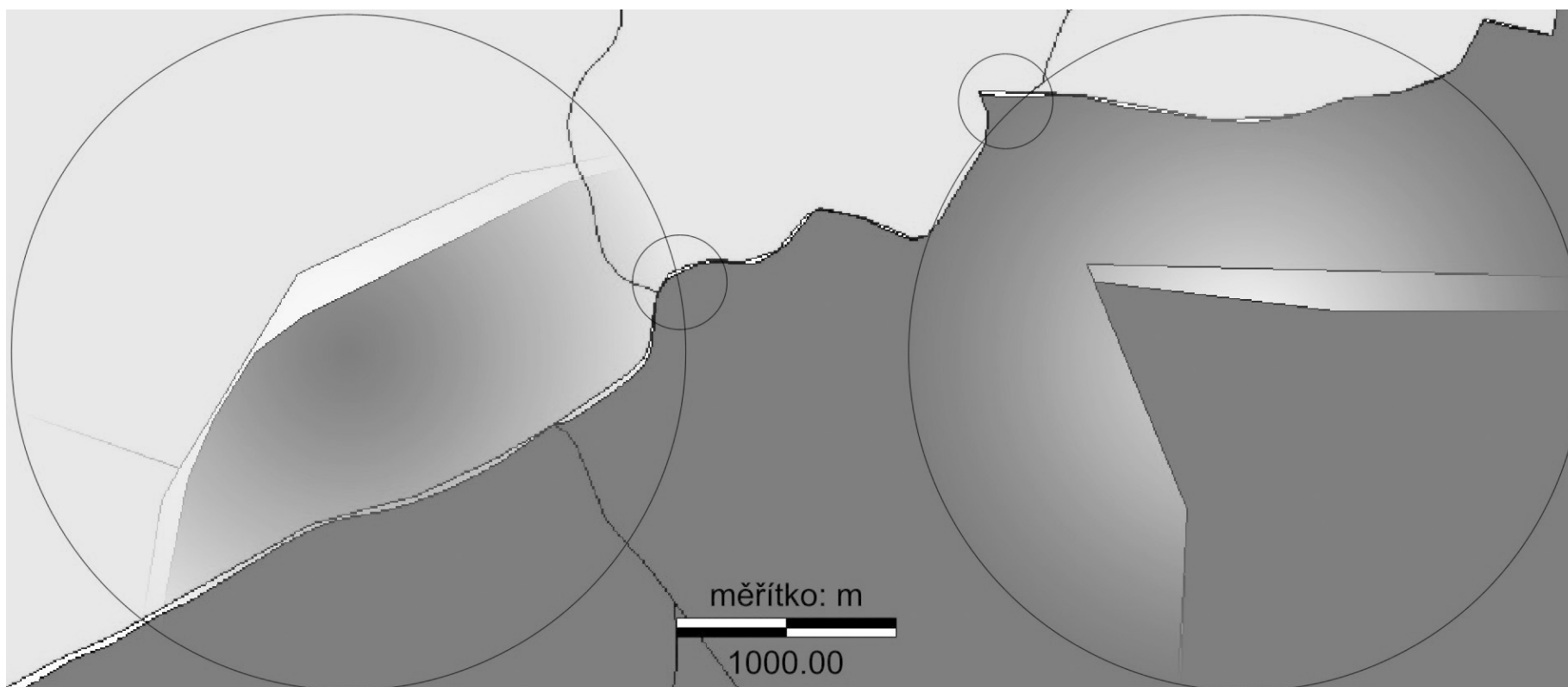
- Komprimace vektoru – redukcí počtu vertexů



Vektorová data často považována za „přesnější“ díky přesné lokalizaci vertexů, ve skutečnosti vše závislé na přesnosti analogových zdrojů, přesnosti zpracování i objemu dat

VEKTOR – některé problémy

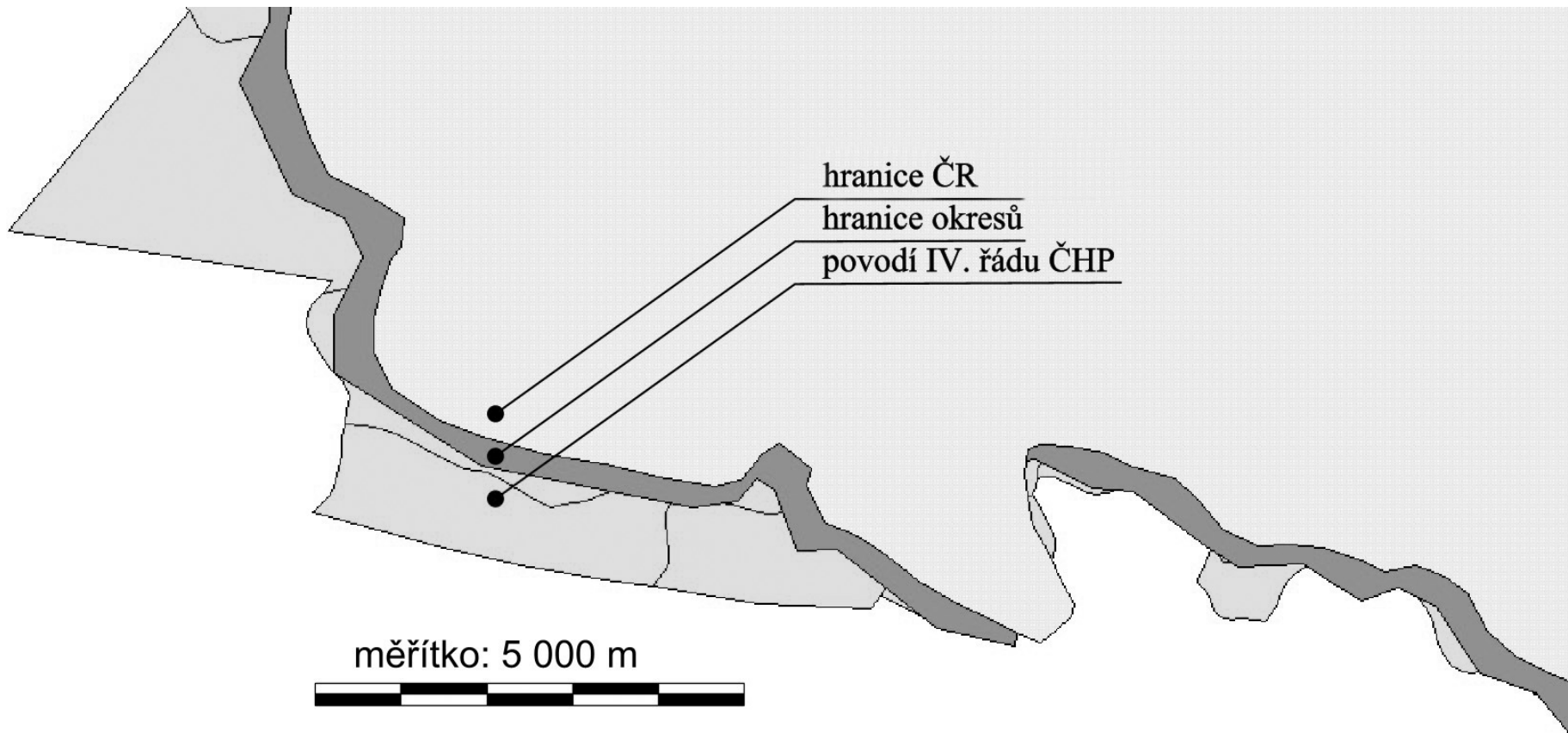
- Dvojí definice polygonů
 - úplné polygony (whole polygons - ArcGIS) bez topologie
 - mnohdy nesouvislost polygonů (chyby digitalizace),
 - Topologický popis se společnou spojnicí



Ukázka nepřesnosti vektorové databáze HEISS – povodí 4. řádu ČR

VEKTOR – některé problémy

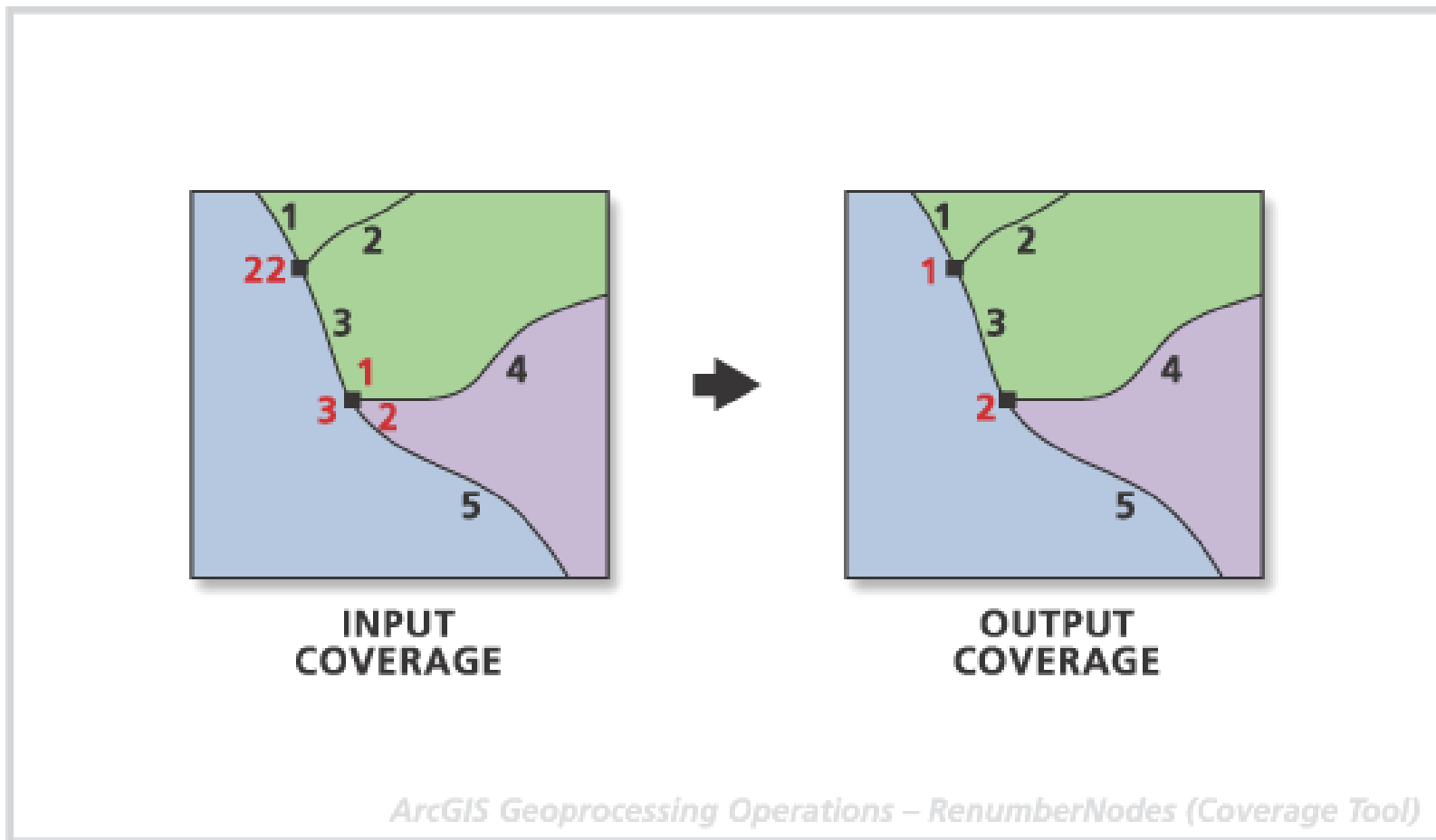
- Vektorová data často považována za „přesnější“ díky přesné lokalizaci vertexů na rozdíl od omezeného rozlišení rastru, ve skutečnosti vše závislé na přesnosti analogových zdrojů, přesnosti zpracování i objemu dat.



Rozdílná vektorová hranice republiky z databáze okresů a z vodohospodářské mapy 1:50 000

VEKTOR – některé problémy

- Topologické tvary – underpass, overpass, chyby ve směru.





Geodata



Geodata

- ✓ Na kvalitě geodat záleží!
- ✓ Geodata – hlavní přínos a motor rozvoje metodik
- ✓ DPZ, datové sklady, nové metody monitoringu, ...

- ✓ Běžná praxe - použití nevhodných metod pro nevhodná měřítka
resp. použití dat neúměrných zvoleným metodám

GIS v krajině inženýrství – vstupní vrstvy pro výpočty

V případě ochrany a organizace povodí základními vstupy jsou:

- Výškopis – digitální model terénu (včetně rozvodnic, ...)
- Mapa využití území (land-use) a mapa vegetačního krytu (Land Cover) včetně sítě vodotečí, ...
- Půdní mapy a charakteristiky
- Srážková data a mapy.

Digitální modely terénu a povrchu

Rastrové modely vhodné pro fenomény plynule se měnící v prostoru:

výška terénu, teplota, tlak apod.

Výška se ukládá jako **jednoduchý atribut** pro daný pixel

Modely definované pomocí **nepravidelné sítě**.

terminologie

DTM vs. DSM

Digitální modely terénu a povrchu umožňují vytvořit si přehled o zájmovém území, vizualizovat a analyzovat jej. Pohledy na území mohou být statické nebo dynamické včetně možnosti různých pohledů a průletů terénem.

Jaký je rozdíl mezi DTM a DSM?

DSM (DMP) - Digitální model povrchu je model terénu včetně vegetace a budov. Vzhledem k tomu, že obsahuje velmi realistické informace o průběhu povrchu, využívají jej zejména telekomunikační firmy pro určení průchodnosti signálu územím.

DTM (DEM, DMT) - Digitální model terénu představuje prostorový geometrický popis reliéfu terénu. Využije se v celé řadě aplikací, vizualizací terénu počínaje až po analytické úlohy. Základ pro krajinné aplikace.

(<http://www.geodis.cz/sluzby/dtm-vs-dsm>)

Digitální modely terénu a povrchu

Zdroje dat:

1. Geodetická měření
2. Fotogrammetrie
3. Interferometrie - radarová data
4. Kartografické podklady (vrstevnice map)

Digitální modely terénu – pravidelný rastr

1. Pravidelné rastrové modely terénu

výhody - jednoduché

snadno pochopitelné

jednoduché postupy při zpracování i při zobrazení

nevýhody – obrovské množství dat,

nevhodně odpovídá skutečnému terénu

Obvykle data získaná stereofotogrammetricky.

Digitální modely terénu – pravidelný rastr

2. Nepravidelné trojúhelníkové sítě

Hranice dělení vedeny po singularitách, liniích, kde dochází k výrazným změnám

Jsou využívány TIN struktury

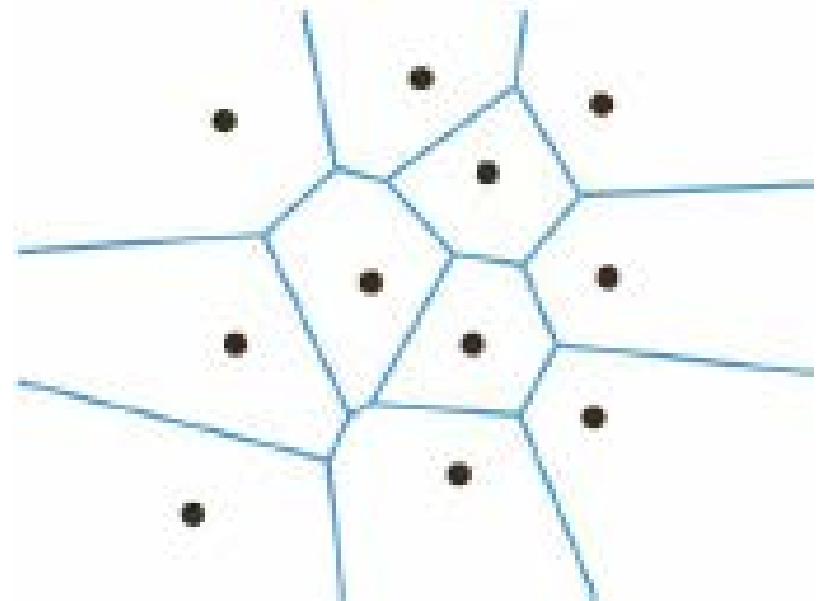
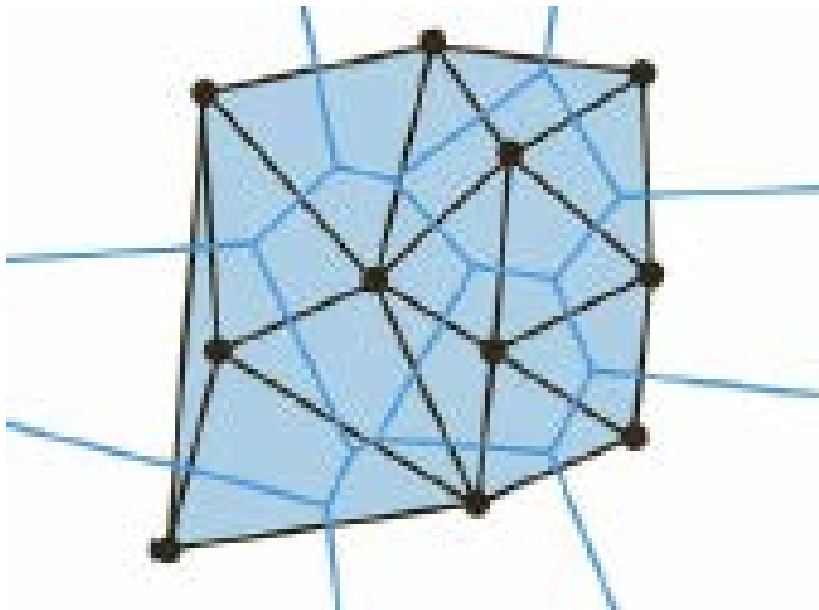
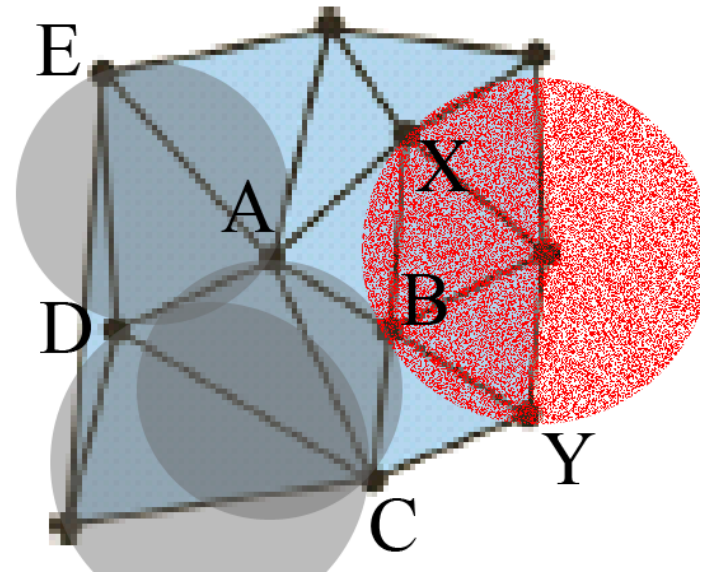
(TIN = triangulated irregular network)

Vhodné pro podrobná data získaná jako bodová mračna (např. laserscan – DMR 5G) nebo zaměřením, lépe popisují tvar.

Využívány např. v software Atlas DMT.

Digitální modely terénu - TIN

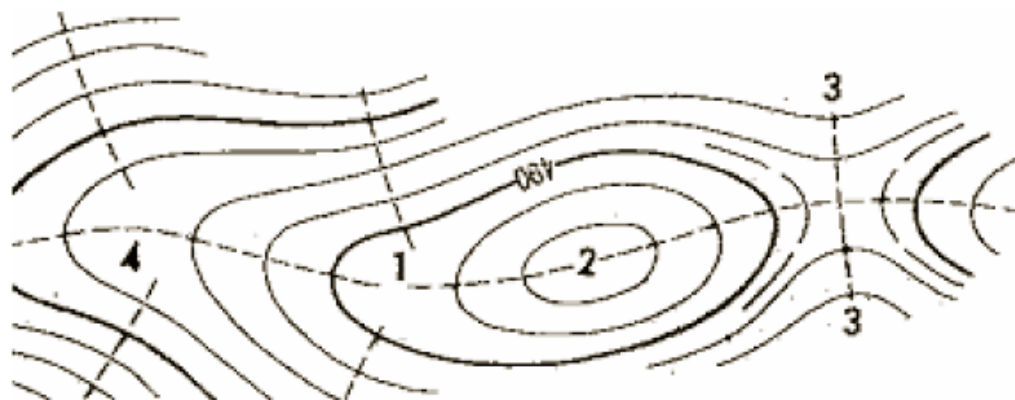
- **Delaunayovy trojúhelníky** – maximalizace minimálního úhlu trojúhelníka pomocí opsaných kružnic → nevznikají nesmyslné uzonké trojúhelníčky, ale je v některých případech nejednoznačná
- **Voronoi diagram = Thiessenovy polygony (=Dirichlet tessellace)** = vrcholy jsou středy kružnic opsaných Delaunayovým trojúhelníkům, hrany jsou kolmice na hrany D. trojúheln. ve středech těchto hran



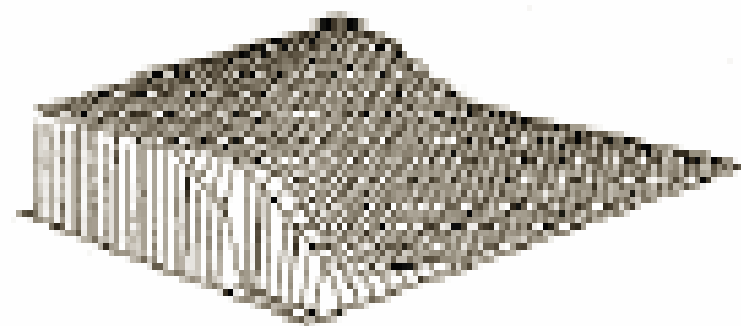
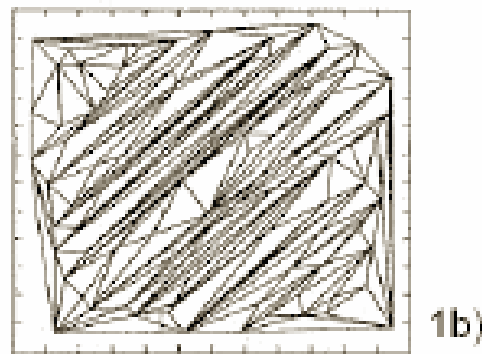
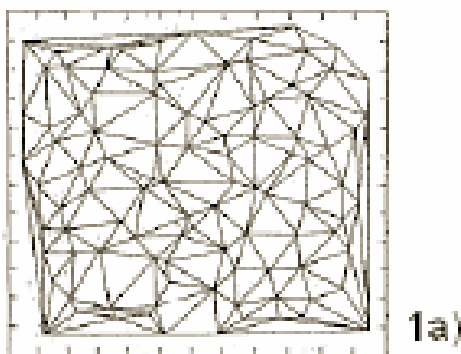
Digitální modely terénu - TIN

Postup vytvoření TIN

1. Výběr klíčových bodů pro zaměření

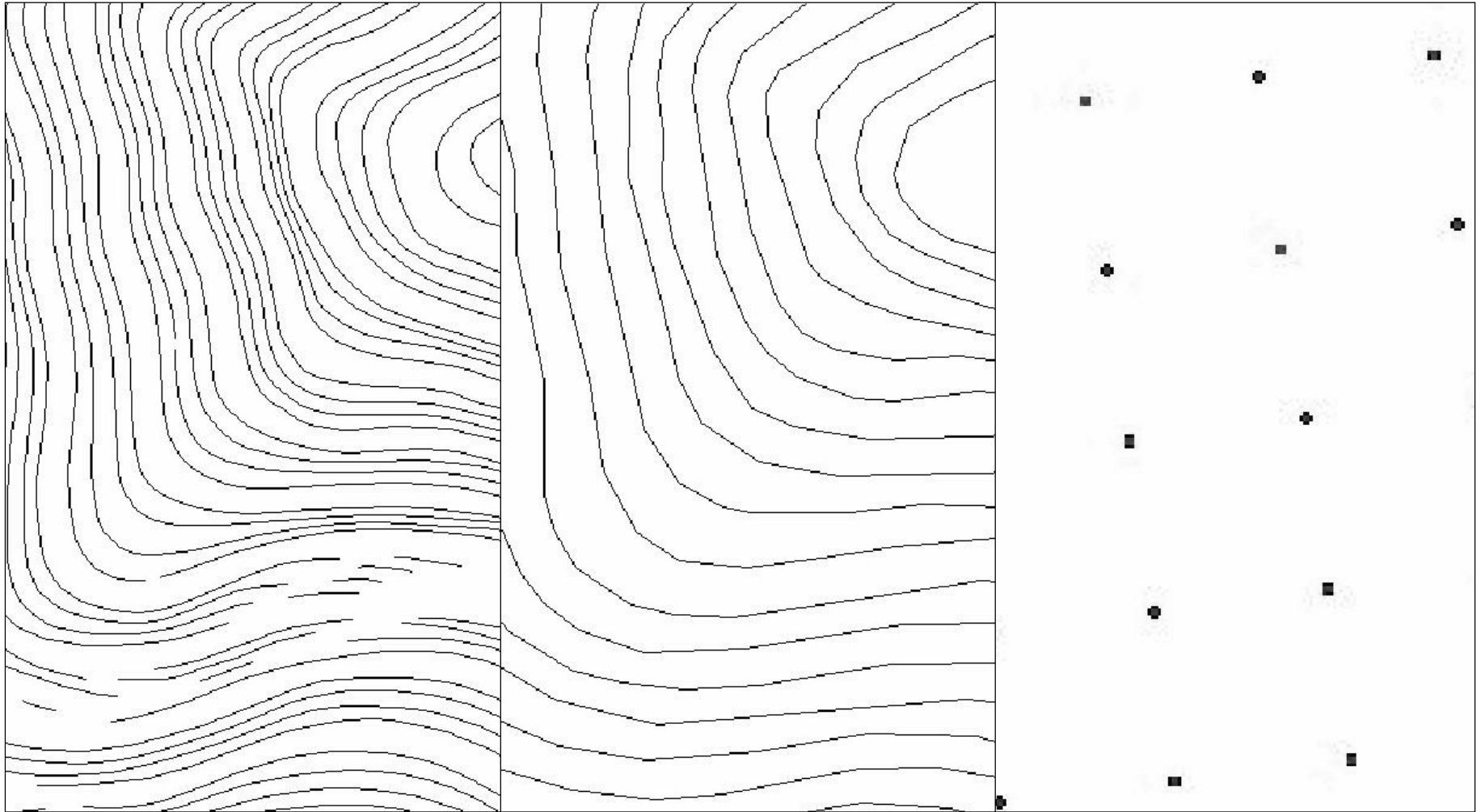


2. Triangulace různými metodami



3. Odstranění chyb

Digitální modely terénu – konkrétní data, dostupnost v ČR, měřítka



Měřítko celosvětová – modely „zdarma“

SRTM

SRTM je zkratka z anglického: „Shuttle Radar Topographic Mission“. Veškerá data dostupná z tohoto zdroje byla pořízena radarovým záznamem nasnímaným v roce 2001 při jediné raketoplánové misi a to v rozmezí od 56 stupně jižní šířky do 60 stupně severní šířky. V roce 2004 byla publikována první „nevyčištěná“ verze dat, později byla postupně uvolňována s mnoha úpravami nová verze s editovanými problematickými a původně nevyhodnocenými oblastmi.

ASTER GDEM

ASTER je multispektrální skener družice Terra vypuštěné v prosinci 1999. ASTER GDEM je výsledkem automatického zpracování stereoskopických družicových scén, jež proběhlo v americko-japonské spolupráci. Zpracování optických dat (na rozdíl od aktivních radarových) vede k ještě vyšším problémům s nevyhodnocenými a chybovými lokalitami (z důvodu různých poruch obrazu, oblačnosti atp.). Model se vyznačuje ještě větším globálním rozsahem (83 stupňů jižní šířky až 83 stupňů severní šířky) a trojnásobně vyšším nativním rozlišením oproti SRTM3 – cca 30 metrů celosvětově.

SRTM

Existují dvě základní úrovně produktu SRTM, produkt SRTM1 (v rovníkovém rozlišení přibližně 30m) se týká pouze území USA, produkt SRTM3 (v rovníkovém rozlišení přibližně 90m) se týká zbytku světa. Pro běžné použití v ČR je třeba rastrový model převzorkovat ze systému WGS84 do kartézského systému S-JTSK. Již převzorkovaný model poskytuje na svých stránkách v rozlišení 100m např. firma GISAT (www.gisat.cz).

Celosvětově je model dostupný ke stažení po jednotlivých scénách ze stránek amerického USGS (<http://srtm.usgs.gov>), případně z řešitelské Jet Propulsion Laboratory (<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>).

Je třeba poznamenat, že již z principu radarového záznamu se nejedná o výškopis terénu, ale o digitální model povrchu (DMP), což se v extravilánu projevuje zejména v oblastech s vysokou vegetací. Dedikovaná střední polohová přesnost modelu je uváděna 20 m a výšková přesnost 16 m, nicméně v řadě oblastí jsou chyby modelu větší. V zemědělských oblastech by model principiálně měl vyhovovat i jako digitální model terénu (DMT), přičemž je třeba uvažovat jeho hrubé rozlišení a zmiňovanou třídu přesnosti.

Model poskytuje alespoň rámcový přehled o hlavních svazích a údolích v území, bohužel je však polohopisně extrémně nepřesný. Posuny hlavních vrcholů a údolnic území vůči ostatním modelům přesahují možnou chybu vnesenou transformací do S-JTSK, posun činí 150 a více (až několik set) metrů v závislosti na lokalitě.

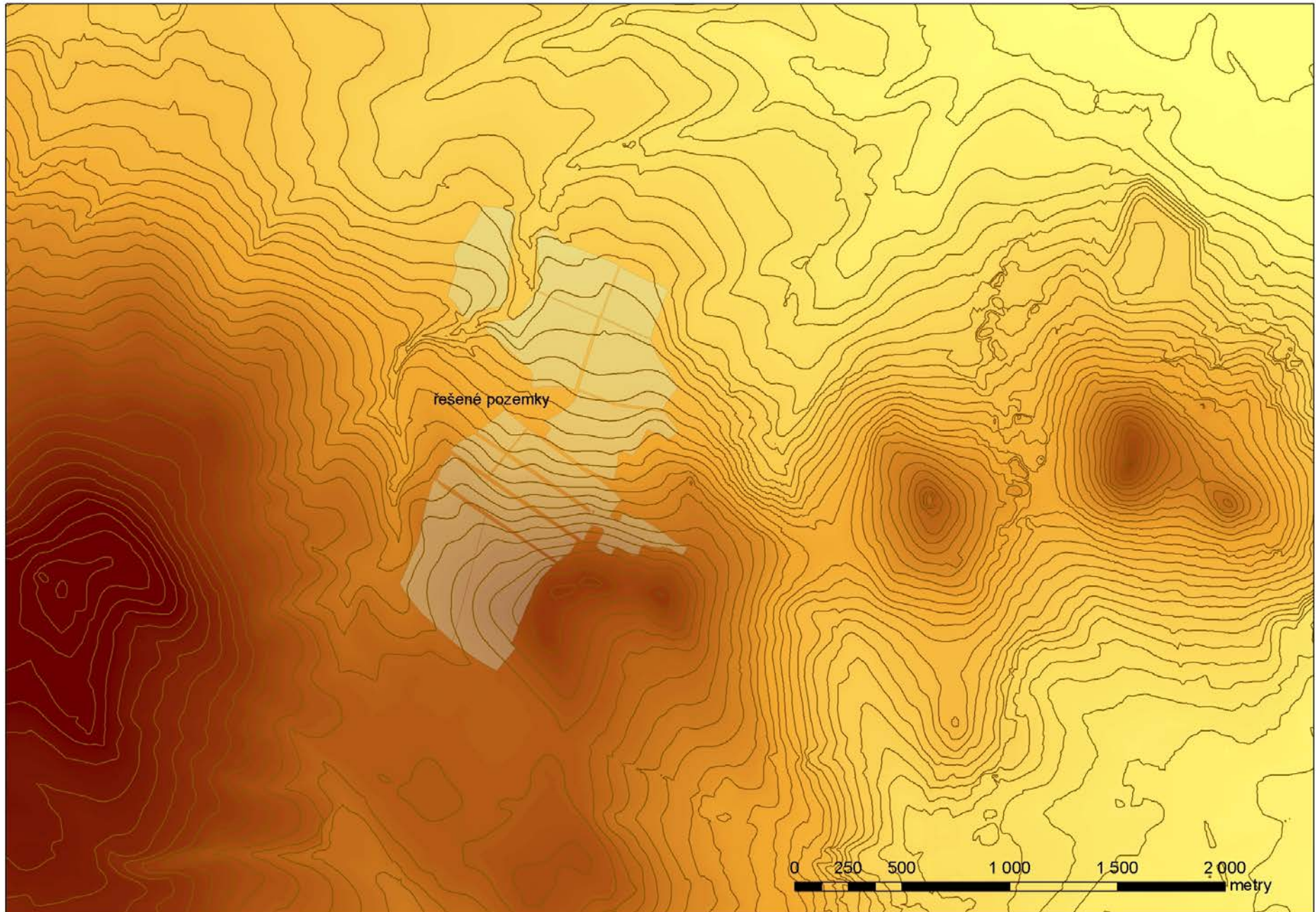
ASTER GDEM

Jedná se tedy o stereoskopicky pořízený model z optických dat a proto principiálně opět o digitální model povrchu.

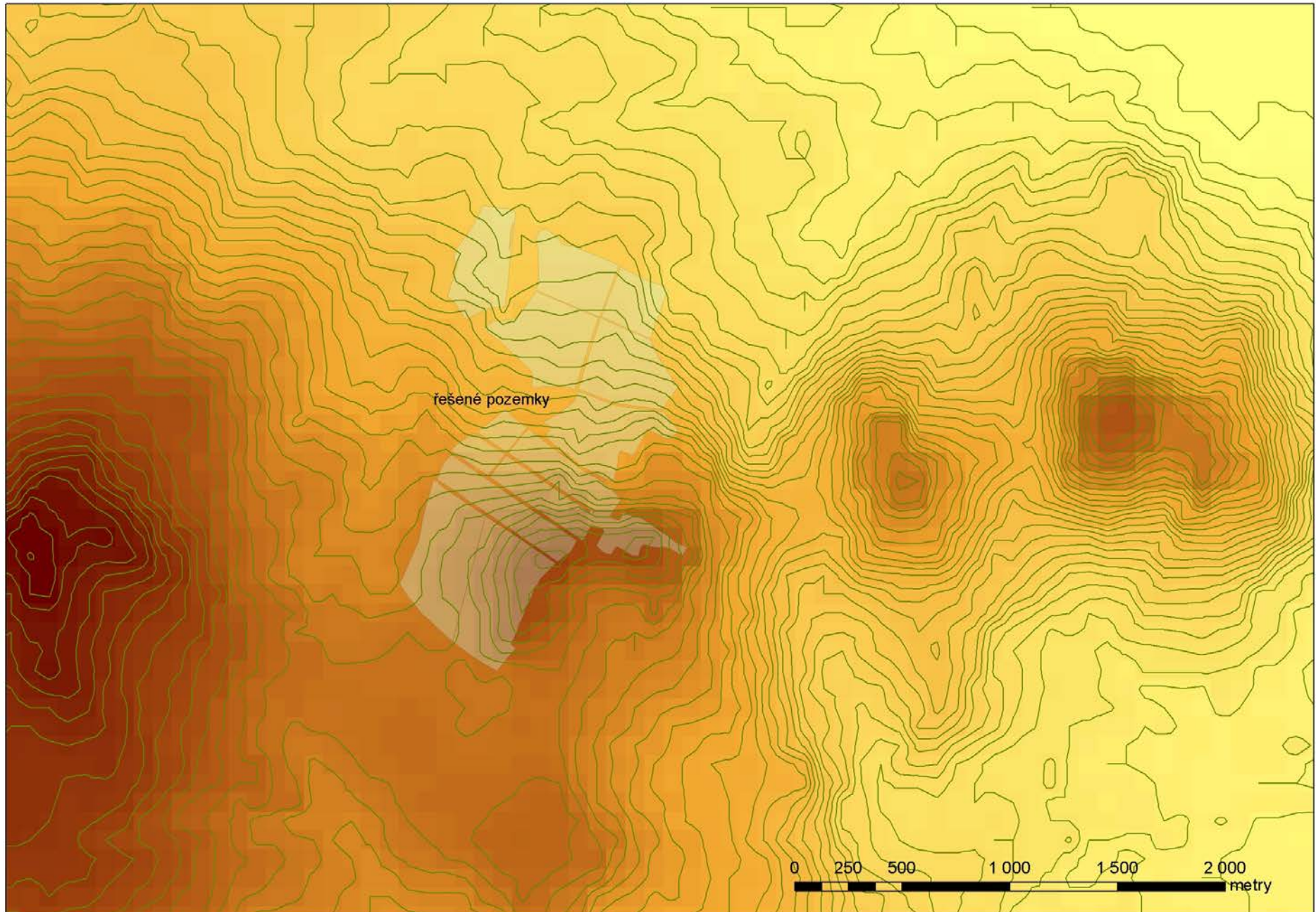
Vyšší rozlišení však nemusí znamenat vyšší přesnost, uvádí se střední globální polohová přesnost 30 m a výšková přesnost 20 m. První experimentální verze modelu (2009) je v současné době nahrazována verzí dvě s provedenou řadou korekcí a odstraněnou řadou lokalit s chybovými daty nebo bez dat. Model je možno po registraci zdarma stáhnout pro jakékoli území ve formě dlaždic o velikosti jednoho úhlového stupně (cca 108 x 108 km) ze stránek ERSDAC (Earth Remote Sensing Data Analysis Center of Japan; <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/> ; <http://www.ersdac.or.jp/GDEM/E/1.html>), případně z datového skladu evropského Joint Research Centre (<ftp://xftp.jrc.it/>).

V územích s dlouhými táhlými svahy se objevují nefiltrovatelné vrcholky a propady se skokovým výškovým rozdílem často přesahujícím 10 - 15 m. Model poskytuje pouze rámcový přehled o nadmořské výšce území. Chyby nelze automatizovaně odfiltrovat. Údolnice nejsou v modelu prakticky vůbec přítomny. Na uvedené chyby modelu (různé intenzity v různých lokalitách světa) upozorňují sami autoři modelu v uživatelské příručce, jež je poskytována s daty při stažení z internetu ze serveru ERSDAC (anonym). **Model je vhodný pro orientaci nad územím v globálním měřítku, nicméně neposkytuje informaci o sklonech odpovídající svému rozlišení.** Testování ukazuje, informační hodnota modelu začne být z hlediska sklonitosti (nikoli pouze nadmořské výšky) relevantní při snížení rozlišení zhruba o jeden řád, tedy na stovky metrů. To však již není rozlišení vhodné pro řešení erozních procesů v úrovni pozemků.

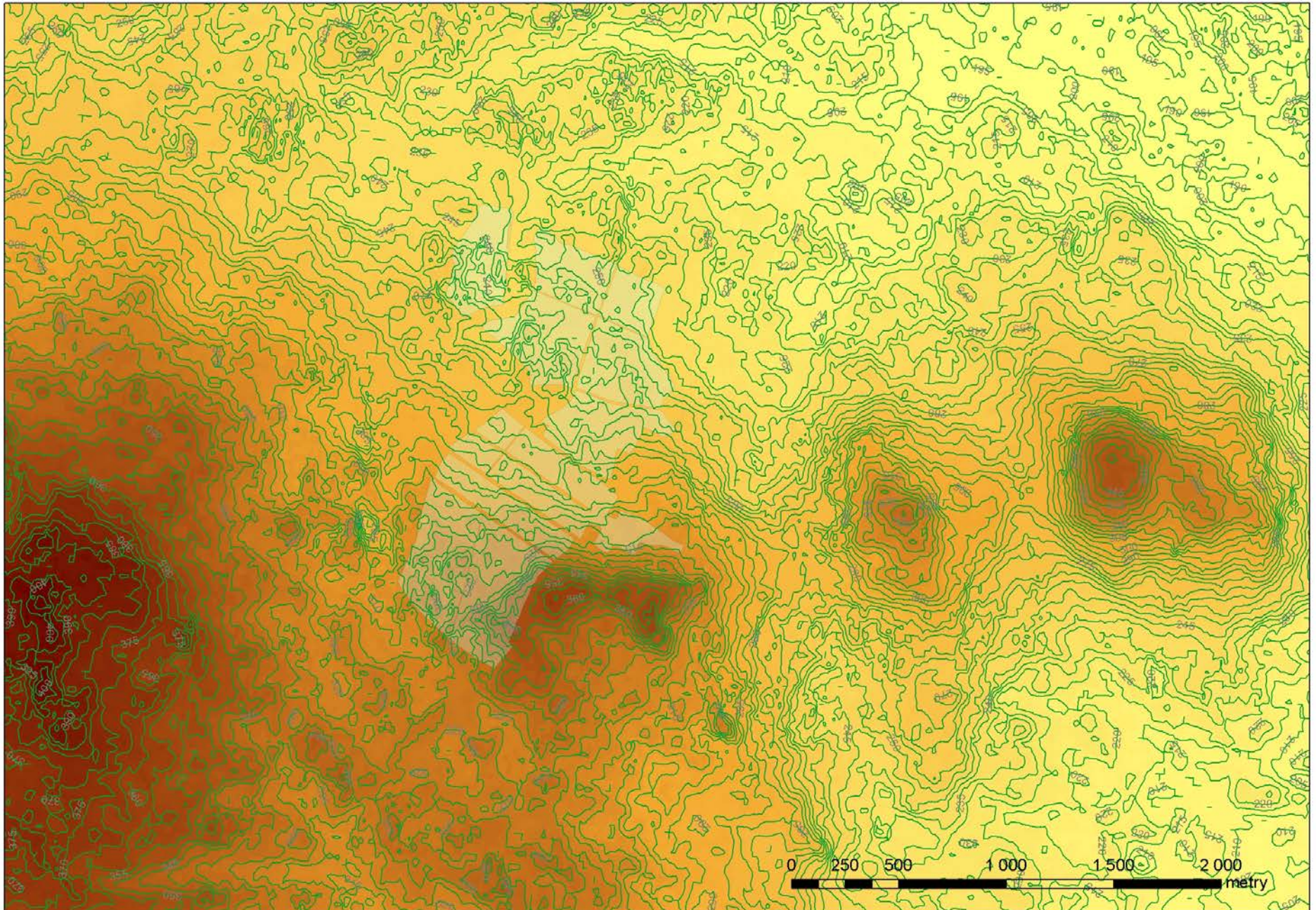
DMT GEODIS (cca 1:10 000)



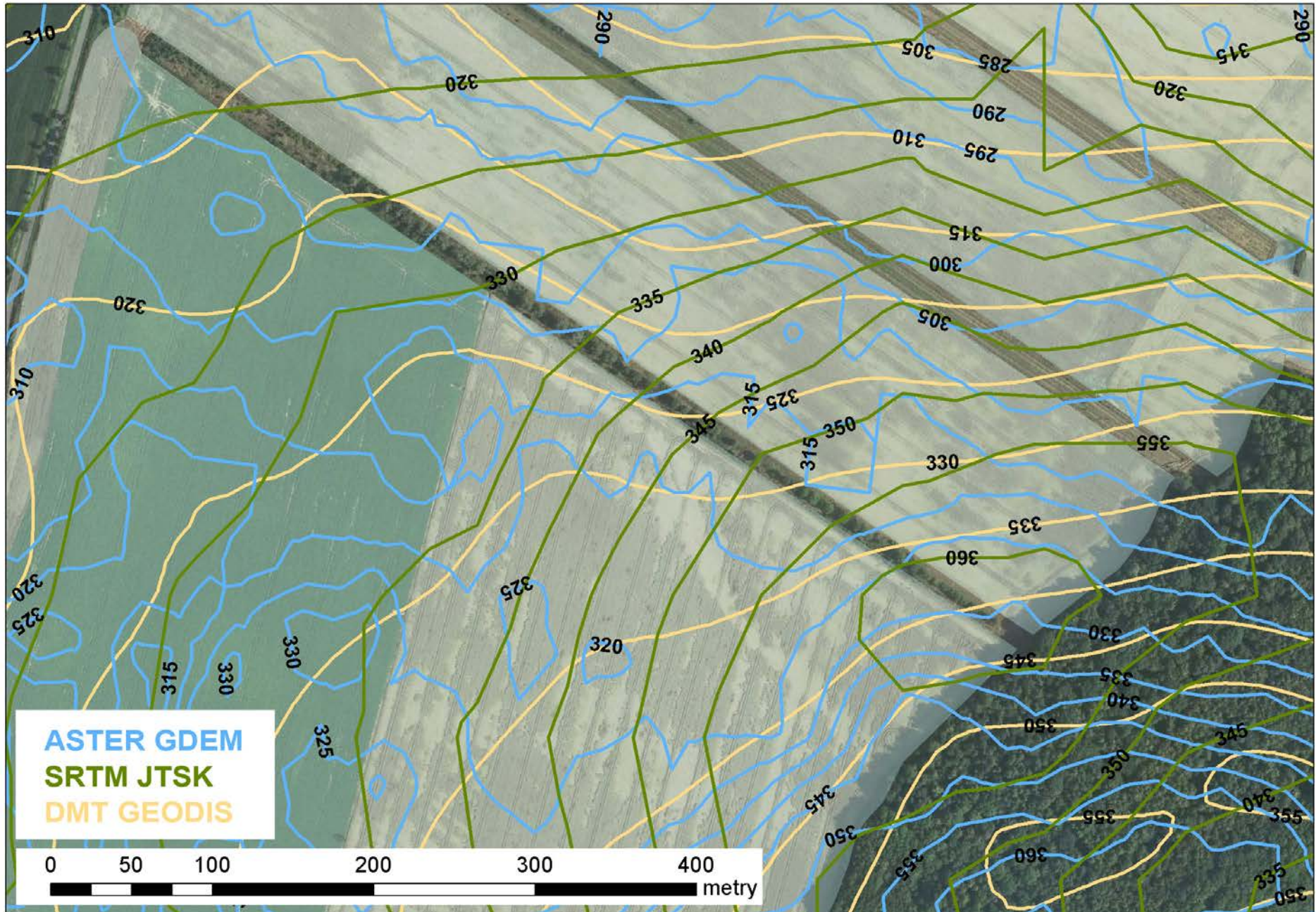
SRTM



ASTER GDEM



Detail – ASTER, SRTM, GEODIS



Podrobné komerční modely terénu v ČR

Starší modely - DMR2, DMR1, DMÚ200, DVD dnes již nemá smysl pořizovat, výjimkou je **DMÚ25 – vojenský model 1:25 000 (výškový krok vrstevnic 5 m)**, který je podrobností srovnatelný se ZABAGEDem

ZABAGED vrstevnice 3D – standard posledních 15 let pro podrobné analýzy.

ZABAGED výškopis grid – nepoporučuji, sklonitosti tvoří schody vlivem chybné interpolace

DMR 4G - Digitální model reliéfu České republiky 4. generace (DMR 4G)

** momentálně lze načíst zdarma a využít pro analýzy v ArcGIS online.*

DMR 5G - Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G)

DMP1G - Digitální model povrchu České republiky 1. generace (DMP 1G), zatím není k dispozici

GEODIS – cca 1:10 000, komerční, ale využívaný státní správou, rastr 10 x 10 m.

ZABAGED vrstevnice 3D

Abstrakt: Základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED®) je digitální geografický model území České republiky (ČR). Výškopisnou část ZABAGED® tvoří 3 typy objektů vrstevnic se základním intervalem 5, 2, nebo 1 m v závislosti na charakteru terénu. Obsah datové sady ZABAGED® - výškopis - 3D vrstevnice je doplněn vybranými dalšími výškopisnými prvky – klasifikovanými hranami a body, které byly vyhodnoceny stereofotogrammetrickou metodou při zpřesňování vrstevnicového výškopisu a jsou uživateli nabízeny k případnému dalšímu využití. Všechny objekty jsou reprezentovány trojrozměrnou vektorovou prostorovou složkou.

Jednotky distribuce: mapový list ZM 10 (18 km²)

Velikost přenosové jednotky v MB: 10

Online: <http://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec/?wmcid=553>

Odkaz: http://geoportal.cuzk.cz/UKAZKOVA_DATA/ZABAGED_VYS.zip

Odkaz: <http://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec>

Digitální model reliéfu České republiky 4. generace (DMR 4G)

Abstrakt: Digitální model reliéfu České republiky 4. generace (DMR 4G) představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru ve formě výšek diskrétních bodů v pravidelné síti (5 x 5 m) bodů o souřadnicích X,Y,H, kde H reprezentuje nadmořskou výšku ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání (Bpv) s úplnou střední chybou výšky 0,3 m v odkrytém terénu a 1 m v zalesněném terénu. Model vznikl z dat pořízených metodou leteckého laserového skenování výškopisu území České republiky v letech 2009 až 2013. DMR 4G je určen k analýzám terénních poměrů regionálního charakteru a rozsahu, např. při projektování rozsáhlých dopravních a vodohospodářských záměrů, modelování přírodních jevů, apod.

Jednotky distribuce: mapový list SM 5 (2,5x2 km)

Velikost přenosové jednotky v MB: 10

Online http://geoportal.cuzk.cz/UKAZKOVA_DATA/VYSKOPIS.zip

Odkaz: <http://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec>

Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G)

Abstrakt: Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G) představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru ve formě výšek diskretních bodů v nepravidelné trojúhelníkové síti (TIN) bodů o souřadnicích X,Y,H, kde H reprezentuje nadmořskou výšku ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání (Bpv) s úplnou střední chybou výšky 0,18 m v odkrytém terénu a 0,3 m v zalesněném terénu. Model vznikl z dat pořízených metodou leteckého laserového skenování výškopisu území České republiky v letech 2009 až 2013. DMR 5G je určen k analýzám terénních poměrů lokálního charakteru a rozsahu, např. při projektování pozemkových úprav, plánování a projektování dopravních, vodohospodářských a pozemních staveb, modelování přírodních jevů lokálního charakteru, apod. DMR 5G je základní zdrojovou databází pro tvorbu vrstevnic určených pro mapy velkých měřítek a počítačové vizualizace výškopisu v územně orientovaných informačních systémech vysoké úrovně podrobnosti.

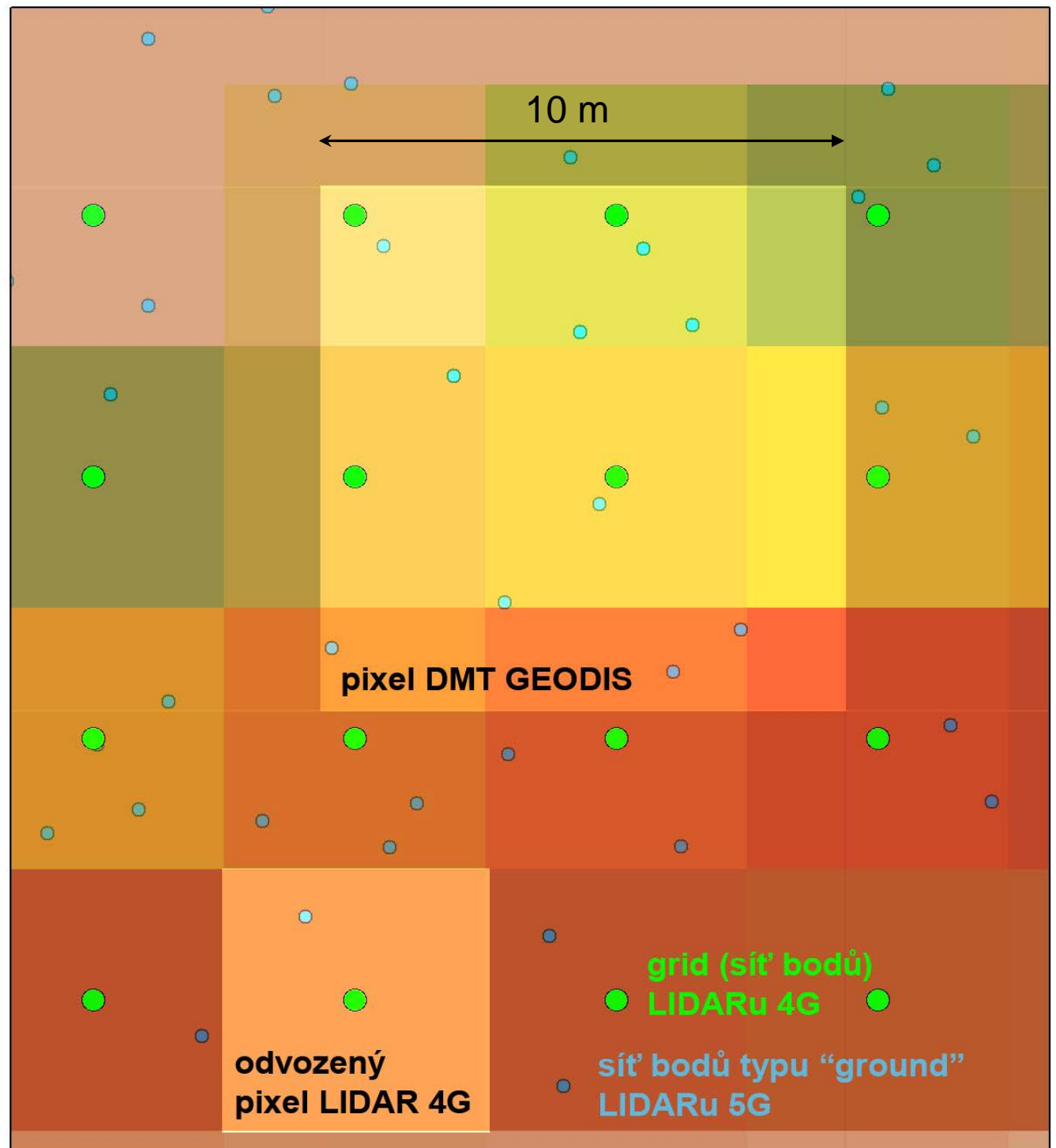
Jednotky distribuce: mapový list SM 5 (2,5x2 km)

Velikost přenosové jednotky v MB: 20

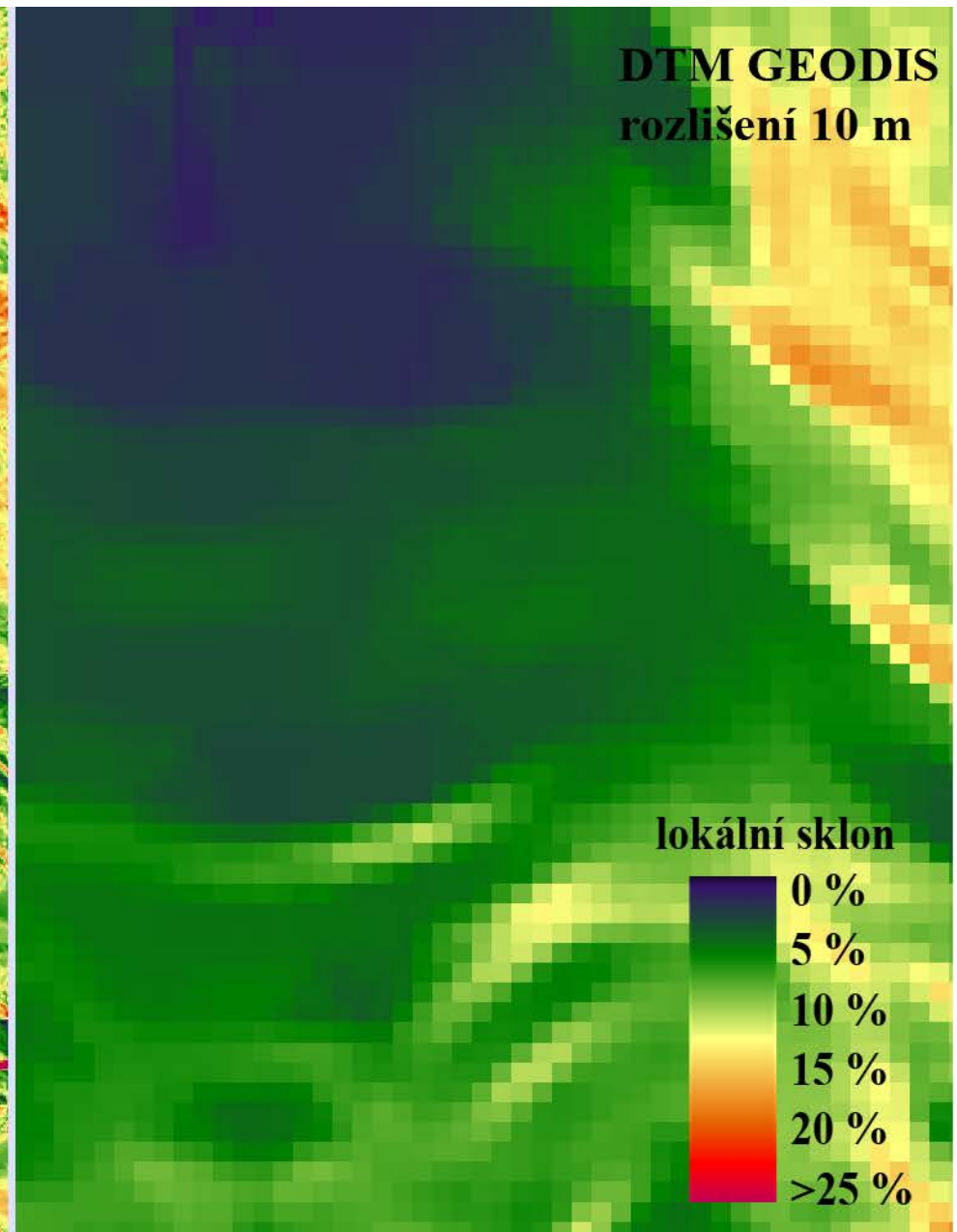
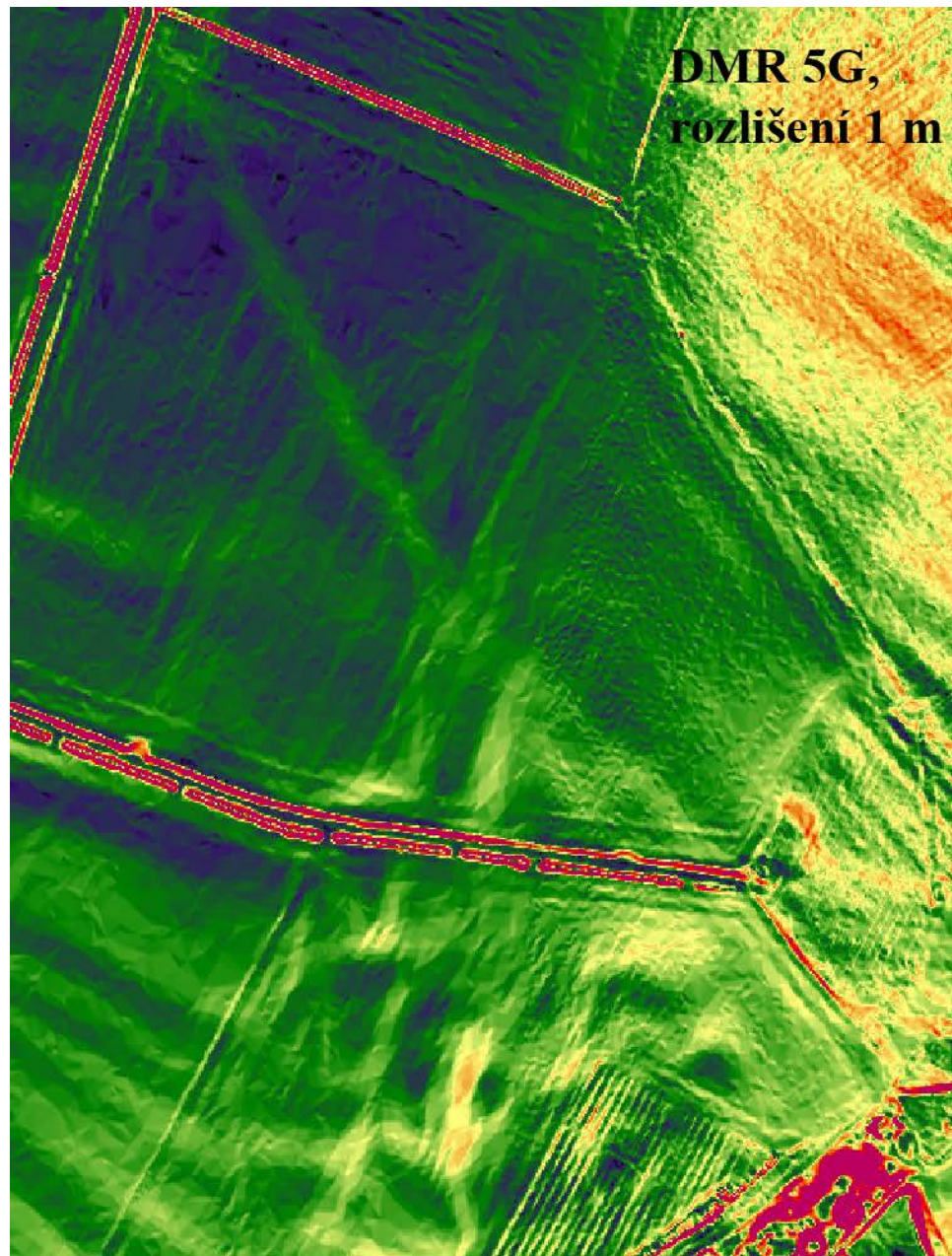
Online: http://geoportal.cuzk.cz/UKAZKOVA_DATA/VYSKOPIS.zip

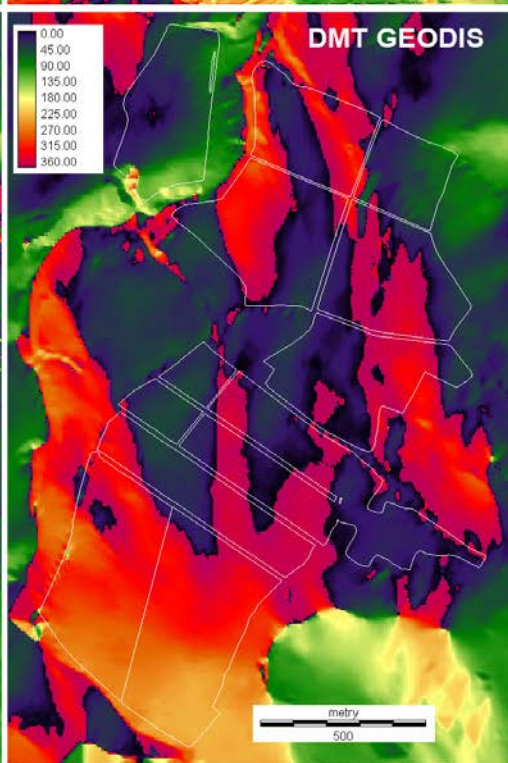
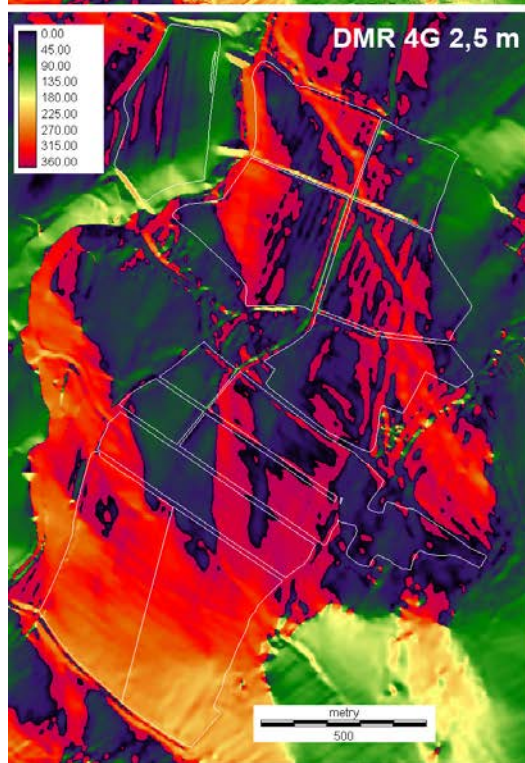
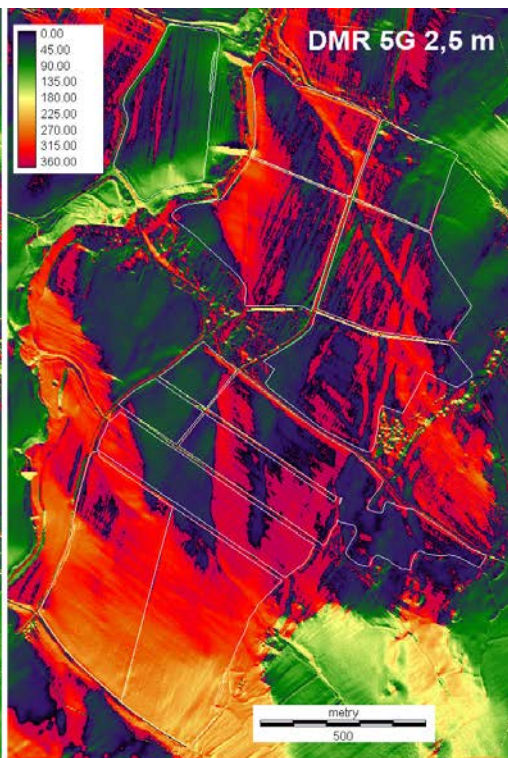
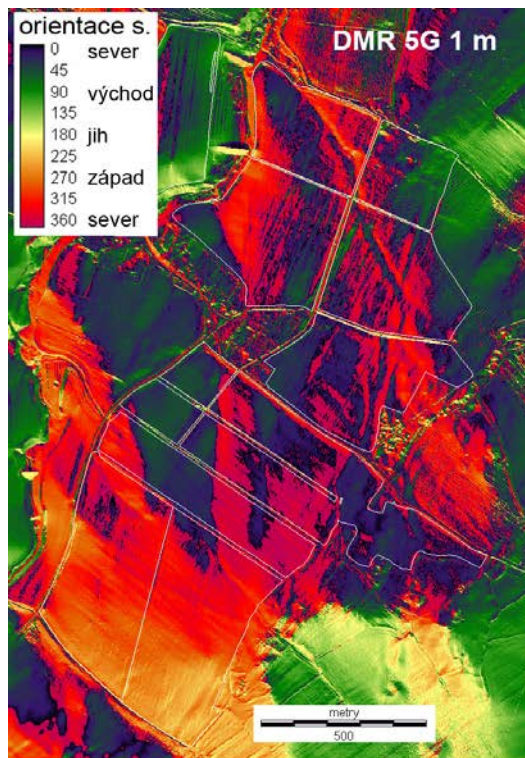
Odkaz: <http://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec>

Porovnání rozlišení modelů



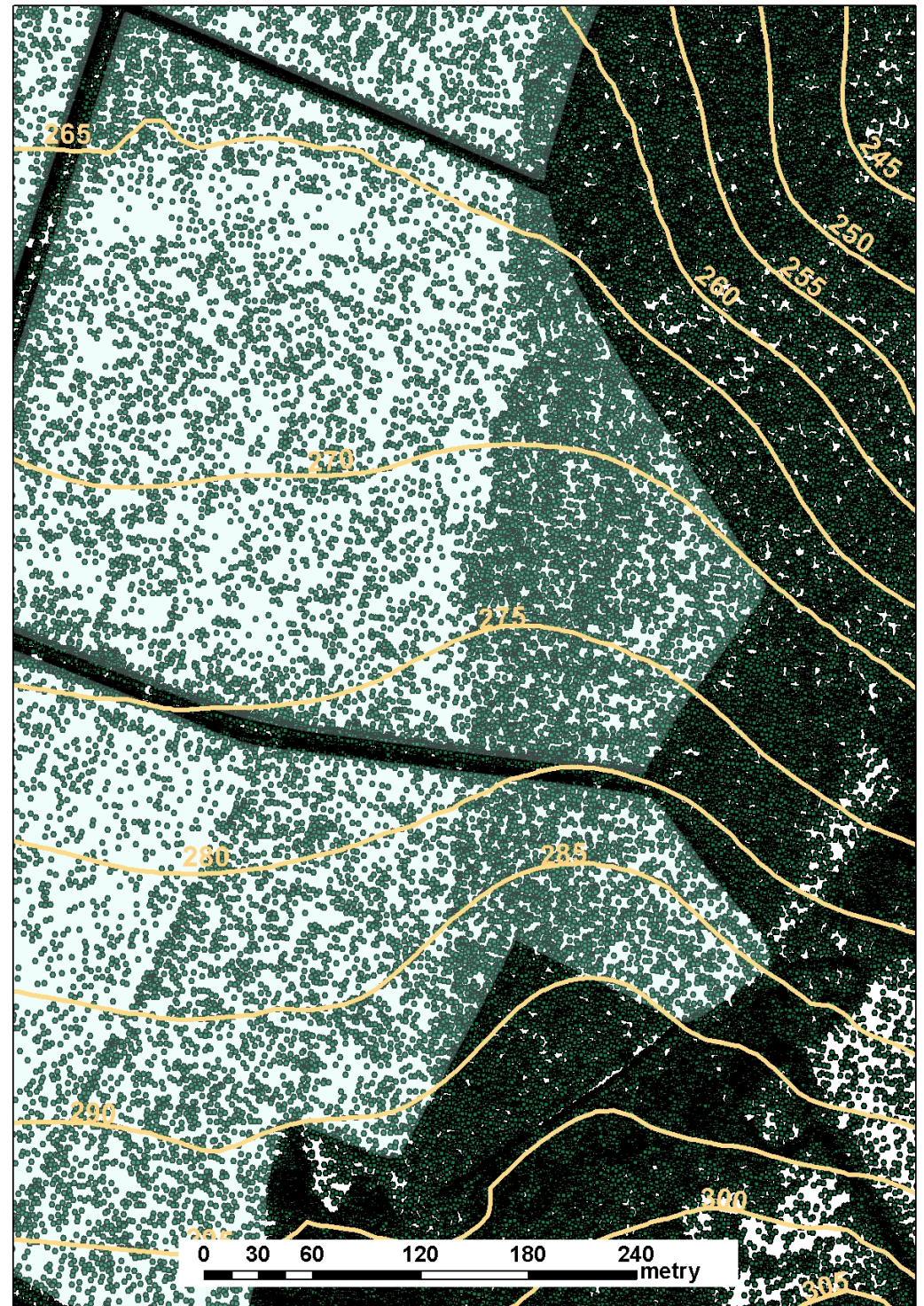
Porovnání rozlišení modelů - sklony



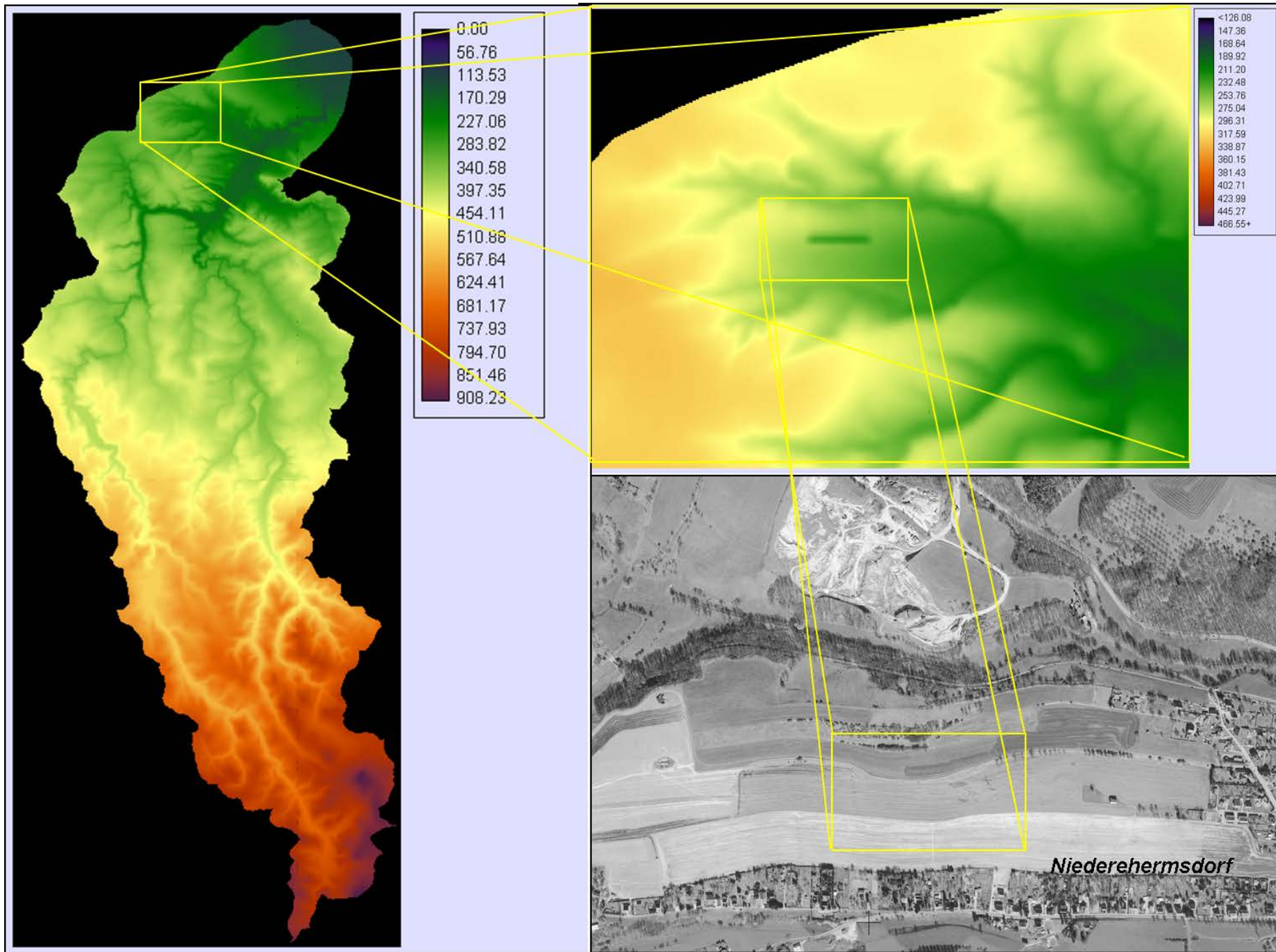


I nejpodrobnější DMR 5G má své chyby

„průměrná“
hustota 2 b / m²



Obecné „chyby“ v modelech terénu





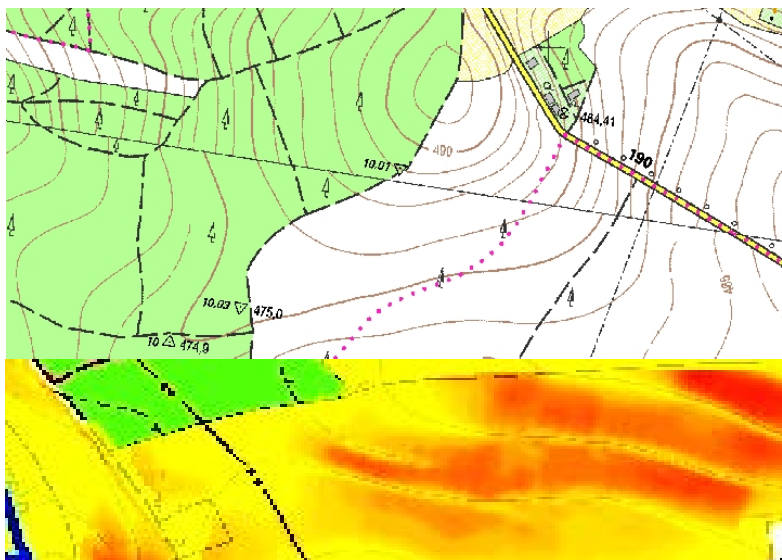
Obecné „chyby“ v modelech terénu



Obecné „chyby“ v modelech terénu

ZABAGED

Přerušení vrstevnic liniovými prvky
Skoková změna výšk. odlehlosti
Použití nevhodných metod - schody

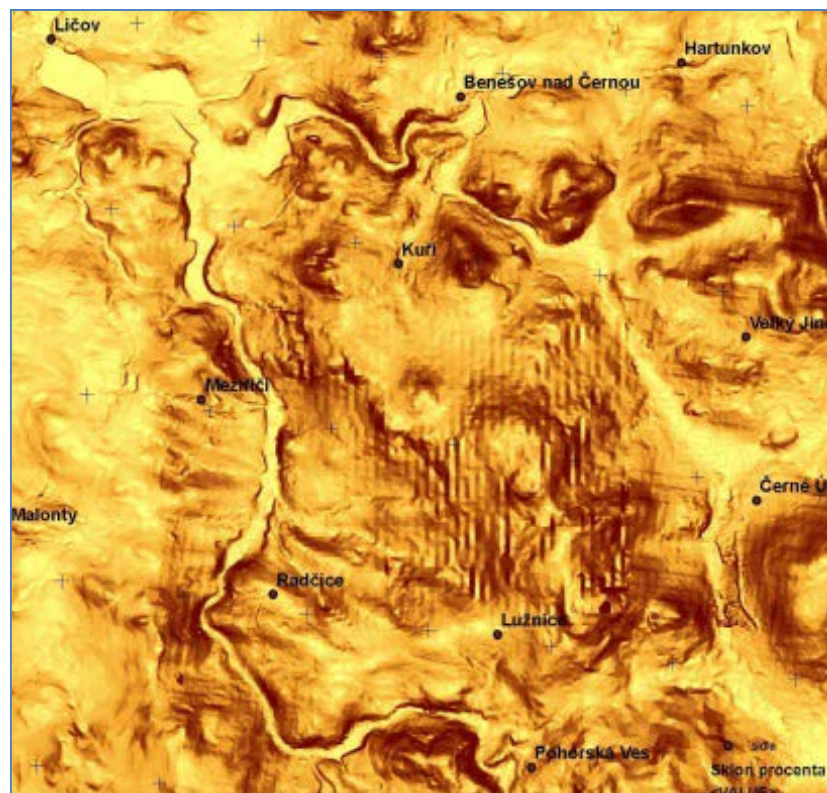


LIDAR (např. ČUZK – 4G a 5G)

Problémy s vegetací - šum
Problémy vodních ploch/toků
Problémy s vyhodnocením dat povrchu

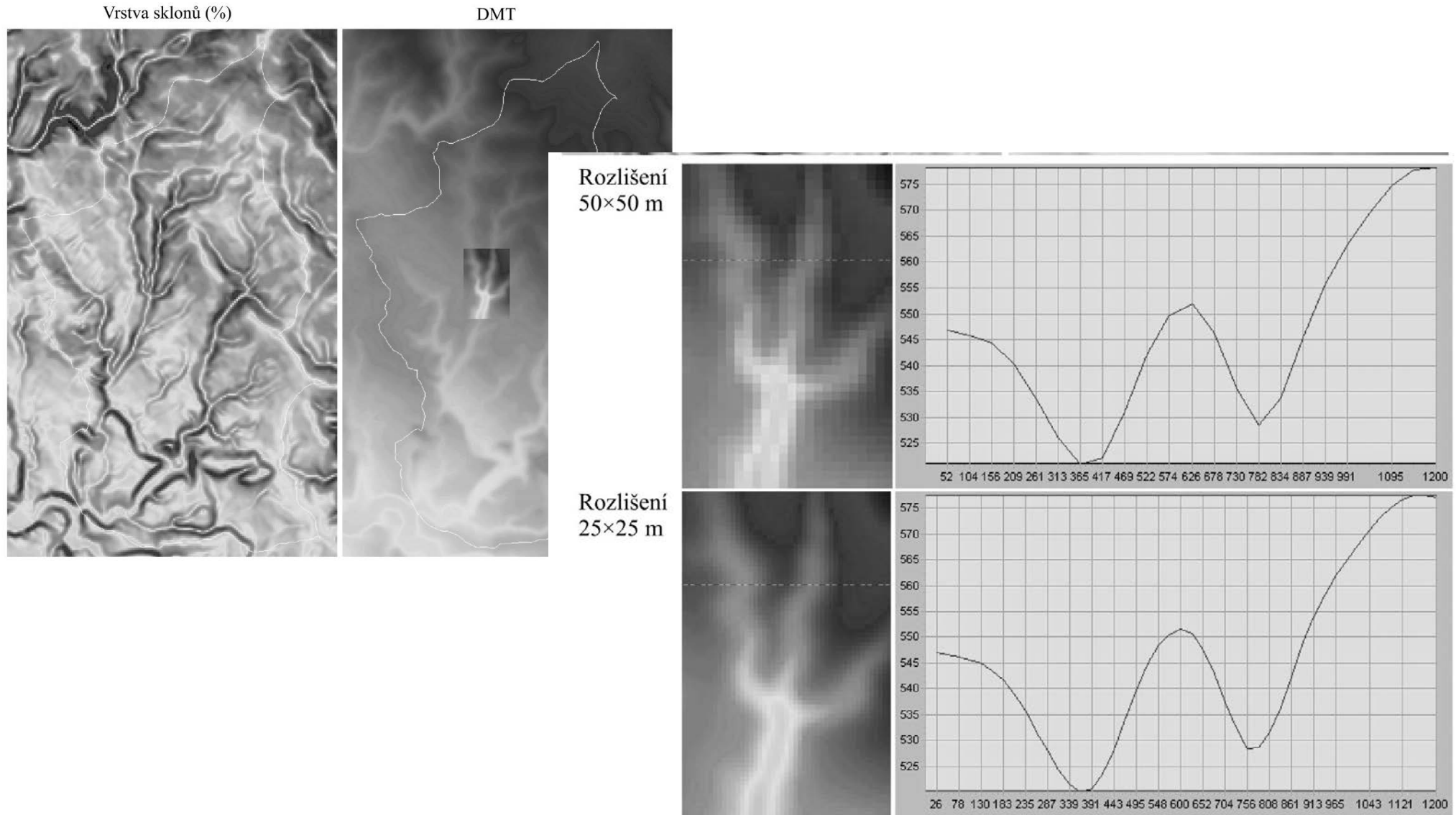
Stereofotogrammetrické modely - GEODIS

Zkreslení vegetačními porosty
Zkreslení vyhodnocením zastínění
Zkreslení špatnými odečty
Geometrická zkreslení podkladu
– nedostatek vlíčovacích bodů



Digitální modely terénu – příprava

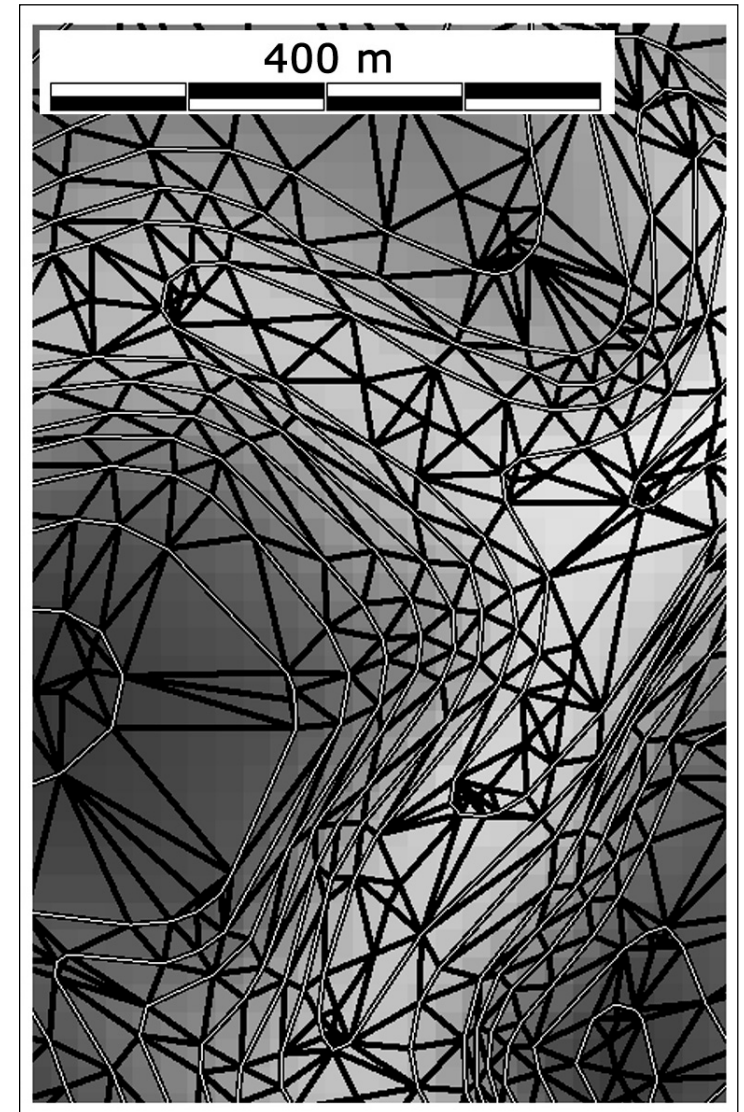
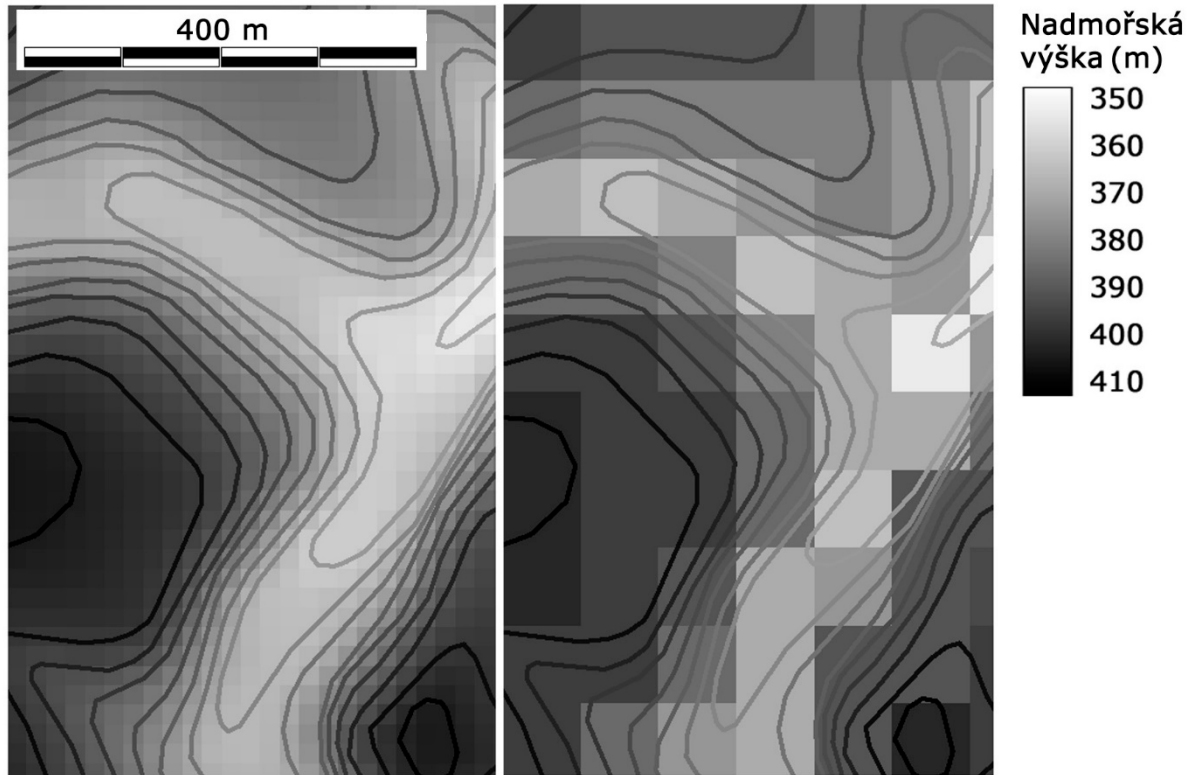
výběr rozlišení (je vhodné uvážit alternativu přípravy rastrového DMT ve vyšším rozlišení a jeho následující agregace do rozlišení nižšího).



Digitální modely terénu – příprava

konverze vektor → rastr a interpolace.

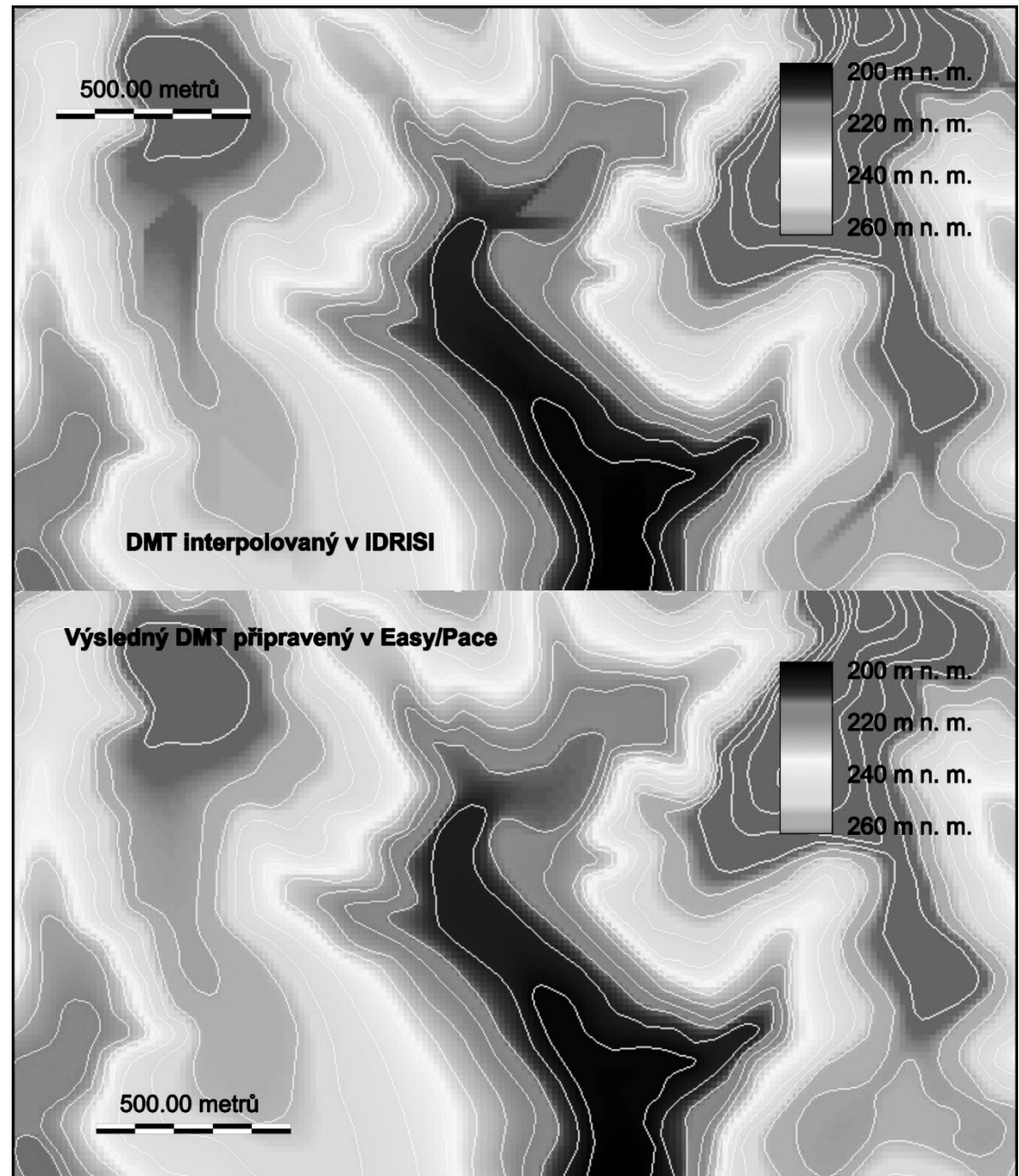
- lineární interpolací mezi zraastrovanými vrstevnicemi, Nelineární interpolací.
- Převodem vrstevnic na TIN s volitelnou hustotou sítě a následně interpolací rastru



Digitální modely terénu – příprava

konverze vektor → rastr a interpolace.

- lineární interpolací mezi zraastrovanými vrstevnicemi, Nelineární interpolací.
- Převodem vrstevnic na TIN s volitelnou hustotou sítě a následně interpolací rastru



Digitální modely terénu – příprava

Ošetření DMT a odstranění chyb

Filtrace

MEAN filtr 3×3 např.

$\frac{1}{9}$ $\frac{1}{9}$ $\frac{1}{9}$
 $\frac{1}{9}$ $\frac{1}{9}$ $\frac{1}{9}$
 $\frac{1}{9}$ $\frac{1}{9}$ $\frac{1}{9}$

ze sumy hodnot matice

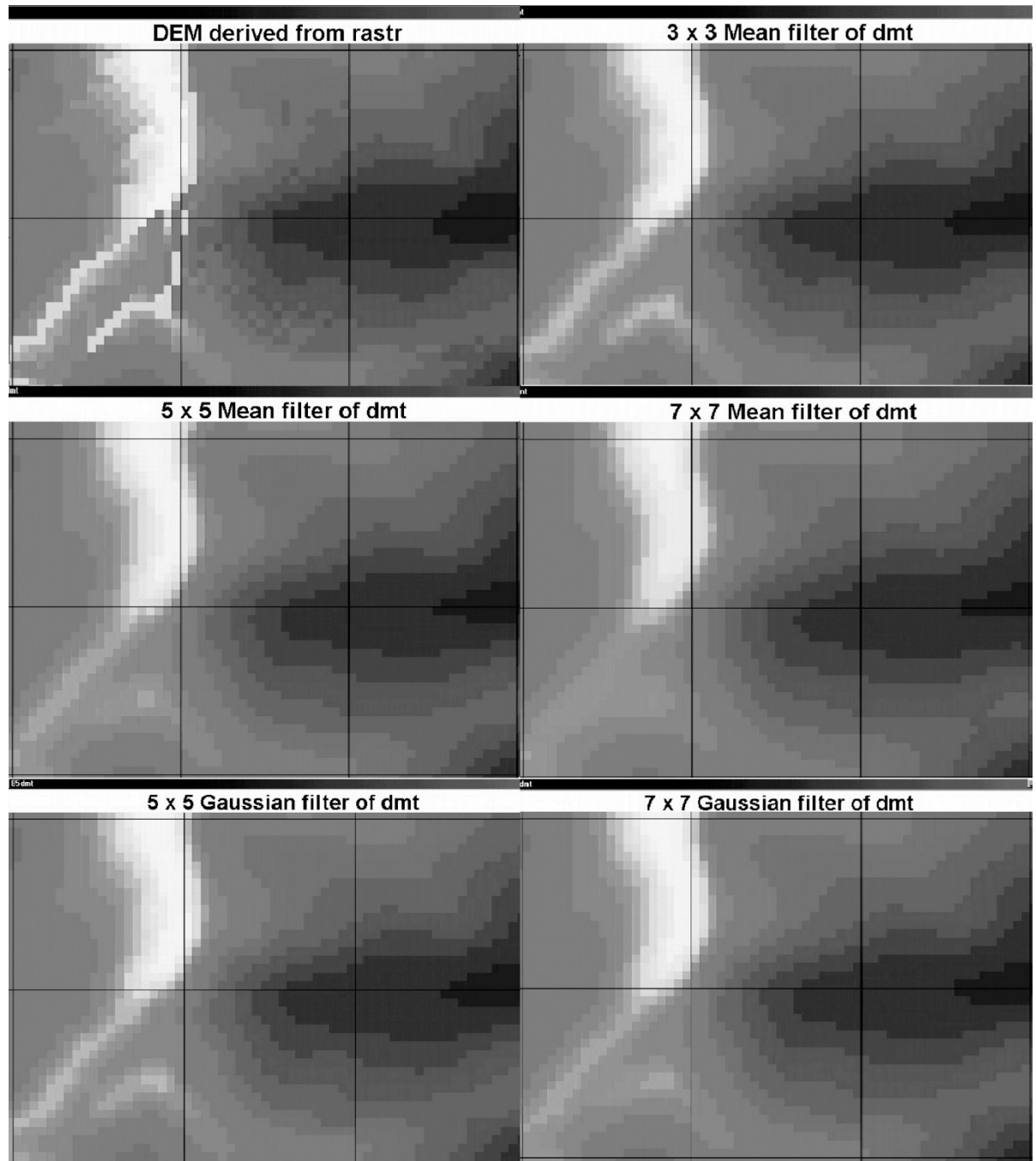
Gaussian filtr 5×5 např.

$\frac{1}{121}$ $\frac{2}{121}$ $\frac{3}{121}$ $\frac{2}{121}$ $\frac{1}{121}$
 $\frac{2}{121}$ $\frac{7}{121}$ $\frac{11}{121}$ $\frac{7}{121}$ $\frac{2}{121}$
 $\frac{3}{121}$ $\frac{11}{121}$ $\frac{17}{121}$ $\frac{11}{121}$ $\frac{3}{121}$
 $\frac{2}{121}$ $\frac{7}{121}$ $\frac{11}{121}$ $\frac{7}{121}$ $\frac{2}{121}$
 $\frac{1}{121}$ $\frac{2}{121}$ $\frac{3}{121}$ $\frac{2}{121}$ $\frac{1}{121}$

ze sumy hodnot matice

...

Pitremoval, ...

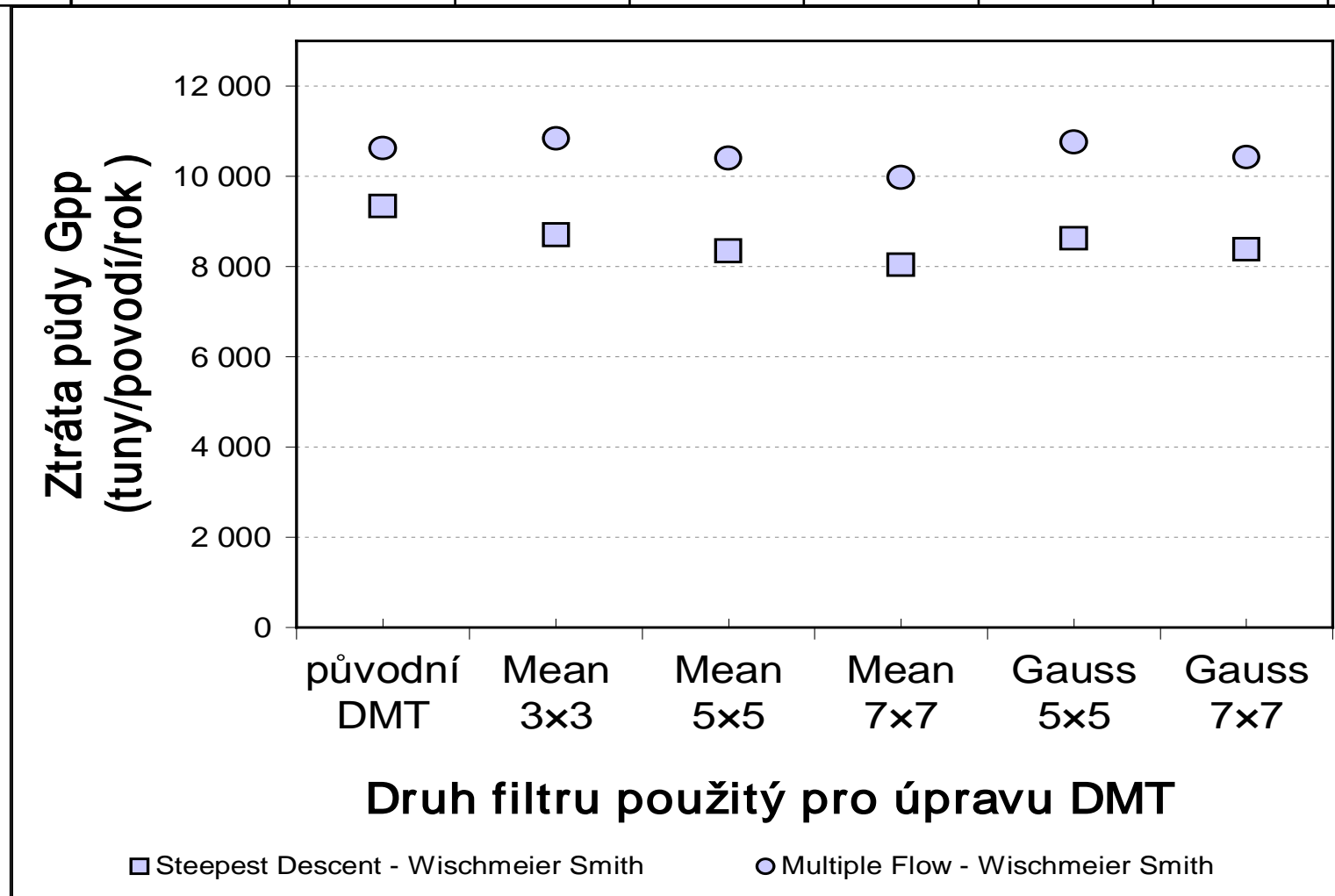


Ošetření DMT a odstranění chyb

Počet hodnot LS faktoru větších než 30 (pro povodí Sedlice)

**Filtrace
(posouzení
vlivu)**

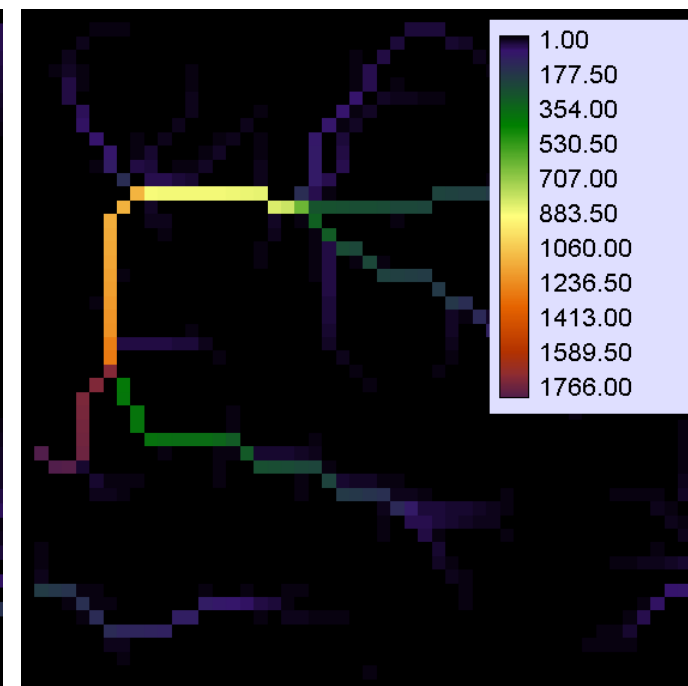
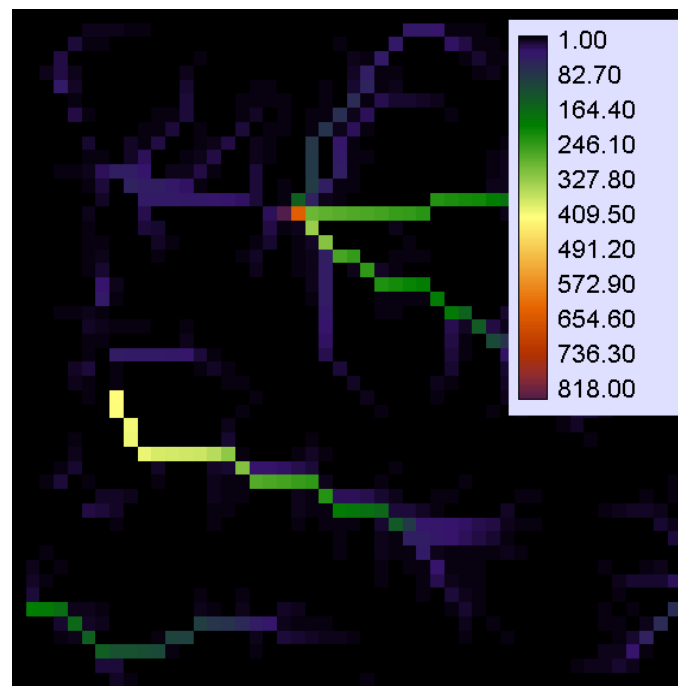
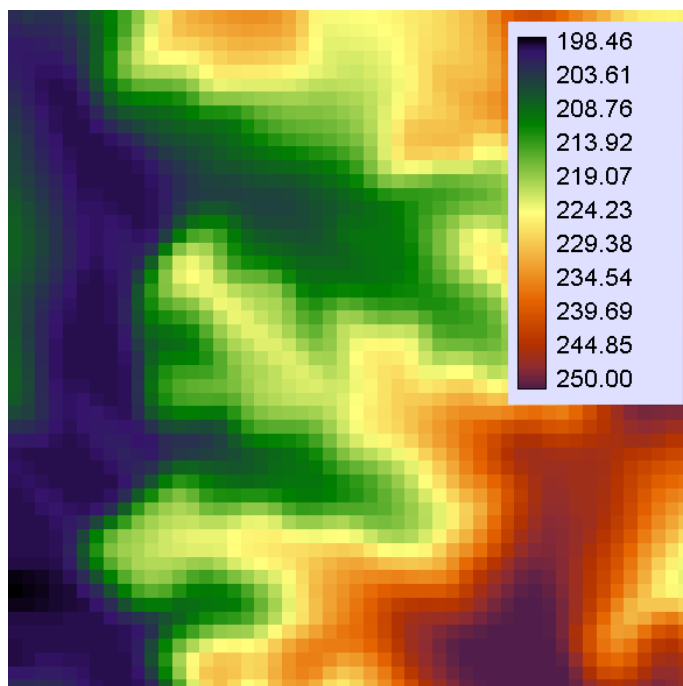
	Použitý filtr pro úpravu DMT					
Směrování odtoku	Původní DMT	MEAN 3x3	MEAN 5x5	MEAN 7x7	Gaussian 5x5	Gaussian 7x7
Steepest descent	59	12	9	6	13	8
Multiple Flow	65	2	0	0	1	0



Digitální modely terénu – příprava

Ošetření DMT a odstranění chyb

Pitremoval (odstranění bezodtokých míst)





Děkuji za pozornost

Josef Krása

Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství,
Fakulta stavební
ČVUT v Praze