

**Univerzita Palackého v Olomouci**

**Přírodovědecká fakulta**

**Katedra geoinformatiky**

**VLIV KVALITY GLOBÁLNÍCH DIGITÁLNÍCH  
MODELŮ TERÉNU NA MODELOVÁNÍ  
PROSTOROVÉ DISTRIBUCE ROSTLIN**

**Bakalářská práce**

**Pavel VYVLEČKA**

**Vedoucí práce RNDr. Jan BRUS, Ph.D.**

**Olomouc 2018**

**Geoinformatika a geografie**

## **ANOTACE**

Cílem práce je ověřit a srovnat kvalitu globálních digitálních modelů terénu (DMT). V bakalářské práci jsou využity tři digitální modely reliéfu (DMR) a to konkrétně WorldDEM, ASTER GDEM v2 a SRTM1 v3. Hlavní důraz je kladen na vliv kvality globálních digitálních modelů reliéfu při modelování prostorové distribuce bobovitých rostlin. Jedná se o bobovité rostliny, které se vyskytují na Blízkém východě. Nejvíce je zastoupena cizrna, dále hrách a čočka. Dalším cílem je srovnání kvality DMR mezi sebou a analýza stanovištních podmínek.

Teoretická část práce je nejvíce zaměřena na modelování prostorové distribuce druhů a digitální modely reliéfu. Je zde uvedeno, jaké DMR jsou použity, jakými metodami se DMR hodnotí a jaké atributy mohou ovlivnit modelování prostorové distribuce druhů. V poslední řadě jsou popsány bobovité rostliny, jejich výskyt a význam. V praktické části jsou DMR srovnávány pomocí neprostorových a prostorových metod hodnocení kvality DMR. Vliv kvality digitálních modelů reliéfu na prostorovou distribuci bobovitých rostlin je testován algoritmem Maxent (Maximum Entropy), kde jsou k environmentálním datům z databáze Worldclim 2.0 přidávány i extrahované topografické atributy jednotlivých modelů.

Výsledkem práce je statistické a vizuální srovnání jednotlivých DMR, vůči modelu WorldDEM, který je považován jako referenční. Dále jsou popsány a vizualizovány predikce výskytu bobovitých rostlin. Posledním výstupem jsou výsledky analýzy stanovištních podmínek, která je vizualizována pomocí grafu a mapy.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Modelování prostorové distribuce bobovitých rostlin; hodnocení kvality digitálních modelů reliéfu; vliv kvality digitálních modelů reliéfu na modelování prostorové distribuce bobovitých rostlin

Počet stran práce: 50

Počet příloh: 11 (z toho 5 vázaných a 6 volných)

## **ANOTATION**

The aim of the thesis is to verify and compare the quality of global digital terrain models (DTM). The bachelor thesis uses three digital elevation models (DEM), WorldDEM, ASTER GDEM v2 and SRTM1 v3. The main emphasis is put on the impact of global digital elevation model quality in spatial distribution modelling of leguminous plants. These are the leguminous plants that occur in the Middle East. Mostly represented are chickpeas, less peas and lentils. Another objective is to compare DEM quality with each other and analyse habitat conditions.

The theoretical part of the thesis is mostly focused on spatial distribution modelling of species and digital terrain models. Is mentioned here what DEMs are used, by which methods the DEMs are evaluated and what attributes can affect spatial distribution modelling of species. Finally, are here described leguminous plants, their occurrence and importance. In the practical part, DEMs are compared by non-spatial and spatial DEM quality assessment methods. The impact of digital elevation model quality on species modelling distribution is tested by the Maxent algorithm (Maximum Entropy), where extracted topographic attributes of each model are added to the WorldClim 2.0 environment data.

The result of the thesis is a comparison of individual DEMs, against the WorldDEM model, which is taken as a reference model. Another result is the impact of digital elevation model quality to spatial distribution modelling of leguminous plants. The final output is result of site conditions analysis, which is visualized by using chart and map.

## **KEYWORDS**

Species distribution modelling, Digital elevation model quality assessment, Impact of digital elevation model quality to species distribution modelling

Number of pages: 50

Number of appendixes: 11

**Prohlašuji, že**

- bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

- jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo,

- beru na vědomí, že Univerzita Palackého v Olomouci (dále UP Olomouc) má právo nevydělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užívat (§ 35 odst. 3),

- souhlasím, aby jeden výtisk bakalářské práce byl uložen v Knihovně UP k prezenčnímu nahlédnutí,

- souhlasím, že údaje o mé bakalářské práci budou zveřejněny ve Studijním informačním systému UP,

- v případě zájmu UP Olomouc uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít výsledky a výstupy mé bakalářské práce v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona,

- použít výsledky a výstupy mé bakalářské práce nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem UP Olomouc, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly UP Olomouc na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Olomouci dne

Pavel Vyvlčka

Děkuji vedoucímu práce RNDr. Janu Brusovi, Ph.D. za podněty a připomínky při vypracování práce.





# OBSAH

<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....</b>	<b>10</b>
<b>ÚVOD .....</b>	<b>11</b>
<b>1 CÍLE PRÁCE.....</b>	<b>12</b>
<b>2 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ.....</b>	<b>13</b>
<b>3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY .....</b>	<b>16</b>
3.1 Digitální modely terénu.....	16
3.1.1 Shuttle Radar Topography Mission .....	17
3.1.2 ASTER GDEM .....	17
3.1.3 WorldDEM .....	18
3.2 Hodnocení kvality DMR.....	18
3.3 Modelování prostorové distribuce druhů.....	21
3.3.1 Maxent .....	22
3.3.2 Digitální modely reliéfu a SDM .....	22
3.3.3 Vliv kvality DMR na SDM .....	24
3.4 Rostliny čeledi Fabaceae .....	25
3.4.1 Význam.....	25
3.4.2 Cizrna.....	25
3.4.3 Hrách .....	25
3.4.4 Čočka .....	26
<b>4 VLASTNÍ ŘEŠENÍ .....</b>	<b>27</b>
4.1 Příprava a zpracování dat.....	27
4.2 Analýza stanovištních podmínek .....	28
4.3 Hodnocení kvality DMR.....	29
4.4 Vizualizace dat.....	31
4.5 Příprava dat pro SDM .....	34
4.6 Modelování prostorové distribuce druhů.....	37
<b>5 VÝSLEDKY PRÁCE .....</b>	<b>39</b>
5.1 Hodnocení kvality DMR.....	39
5.1.1 Neprostorové metody .....	39
5.1.2 Prostorové metody.....	41
5.2 Modelování prostorové distribuce .....	44
5.3 Analýza stanovištních podmínek .....	47
<b>6 DISKUZE .....</b>	<b>49</b>
<b>7 ZÁVĚR .....</b>	<b>50</b>



**POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE**  
**PŘÍLOHY**

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

<b>Zkratka</b>	<b>Význam</b>
AE	Absolute error
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
CONCAR	National Commission of Cartography
CSV	Comma-separated values
CTI	Compound topography index
DEM	Digital elevation model
DMP	Digitální model povrchu
DMR	Digitální model reliéfu
DMT	Digitální model terénu
DSM	Digital surface model
DTM	Digital terrain model
ENM	Environmental niche modelling
ESRI	Environmental Systems Research Institute
GDEM	Global digital elevation model
HLI	Heat load index
IFSAR	Interferometric Synthetic Aperture Radar
LIDAR	Light Detection And Ranging
LISA	Lokální indikátory prostorových asociací
Maxent	Maximum Entropy
METI	The Ministry of Economy, Trade, and Industry
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NGA	National Geospatial-Intelligence Agency
RMSE	Root mean square error
SDM	Species distribution modelling
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TWI	Topographic wetness index
USGS	United States Geological Survey
UTM	Univerzální transverzální Mercatorův systém souřadnic
VUGTK	Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický
WGS	World Geodetic System

## ÚVOD

Bobovité rostliny představují z hlediska potravinářství a zemědělství velmi důležitou čeleď. V potravinářství se uplatňuje zejména kvůli vysokému obsahu bílkovin, v zemědělství tím, že dokáže obohacovat půdu o dusík. Biology je tahle čeleď velmi často zkoumána buďto kvůli vylučovanému dusíku do půdy, nebo kvůli klimatickým vlivům na dormanci. V bakalářské práci jsou stanoviště výskytu bobovitých rostlin použita jako nálezořá data pro modelování prostorové distribuce druhů.

Modelování prostorové distribuce druhů využívá různé algoritmy k predikci vhodného prostředí pro pěstování nebo výskyt živočichů. Modelování je velmi důležité v přírodních vědách a pomáhá predikovat či předejít různým přírodním pochodům. Do algoritmů vstupuje řada dat. Prvními jsou nálezořá data, která představují polohu výskytu dané rostliny. Dále do algoritmu vstupují environmentální data, kterými mohou být klimatické, půdní, geologické nebo topografické atributy. Právě na topografické atributy bude v rámci práce kladen největší důraz. Podle Moore a kol. (1991) jsou topografické atributy odvozeny přímo z digitálních modelů reliéfu (primární) nebo vznikají kombinací primárních atributů (sekundární).

Díky vyvíjejícím se technologiím jsou predikce přesnější. Hlavně tedy kvůli moderním metodám dálkového průzkumu Země, ze kterého se dále odvíjí lepší přesnost a rozlišení digitálních modelů terénu nebo dostupné klimatické mapy. Práce má za úkol ověřit, jak moc ovlivní odlišná kvalita použitých digitálních modelů terénu modelování prostorové distribuce rostlin. Hodnocením kvality digitálních modelů terénu se zabývalo mnoho studií. Poprvé ale bude srovnán vliv kvality komerčního produktu WorldDEM s volně dostupnými modely SRTM1 v3 a ASTER GDEM v2.

# 1 CÍLE PRÁCE

Cílem bakalářské práce je ověřit a srovnat kvalitu jednotlivých dostupných globálních digitálních modelů terénu (ASTER GDEM v2, SRTM1 v3, WorldDEM) s hlavním důrazem na modelování prostorové distribuce rostlin a analýzu stanovištních podmínek.

Mezi teoretické cíle patří rešerše, která je zaměřena na modelování prostorové distribuce druhů a digitální modely reliéfu. Je zde uvedeno, jaké DMR jsou použity a jejich popis, jakými metodami se DMR hodnotí a jaké atributy mohou ovlivnit modelování prostorové distribuce druhů. V poslední řadě jsou popsány bobovité rostliny, jejich výskyt a význam. V praktické části je testována kvalita výškových dat ve vybraných oblastech, rozdíly v nadmořské výšce a vytvořených topografických attributech. Zvláštní důraz při modelování prostorové distribuce bobovitých rostlin je kladen na data WorldDEM, která jsou nejpřesnějšími globálními výškovými daty. Digitální modely reliéfu jsou nejprve srovnány pomocí neprostorových a prostorových metod hodnocení kvality. Nakonec je testován jejich vliv na modelování prostorové distribuce bobovitých rostlin.

Výsledkem bude fyzický 3D model reliéfu, na kterém lze pozorovat různý průběh reliéfu u jednotlivých DMR a rozpoznat tak případné odchylky. Mapa s potenciální prostorovou distribucí bobovitých rostlin bude vytvořena pro všechny tři testované modely. Výsledek tak bude opět možné sledovat vizuálně.

## 2 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ

Pro určení metod použitých v bakalářské práci byla nejprve zpracována rešerše literatury. Týkala se metod pro hodnocení kvality digitálních modelů reliéfu, které byly vybrány podle četnosti použití v ostatních studiích nebo podle použitelnosti pro danou úlohu. Na základě použitelnosti byl vybrán algoritmus pro prostorovou distribuci druhů. V následující kapitole jsou popsány použité metody, data a celý postup zpracování práce. Pro rychlejší přehled byl vytvořen diagram postupu práce (Obrázek 1).

### Použité metody

V bakalářské práci byly využity nejpoužívanější metody hodnocení dat. Neprostorové metody jako střední kvadratická chyba (RMSE) a absolutní chyba (AE), jsou využívány ve většině děl, které se zabývají hodnocením kvality DMR. Jedná se však o globální hodnocení, které udává informaci a celkové odchylce porovnávaných dat od dat referenčních. Prostorové metody hodnocení kvality jako LISA (Lokální indikátor prostorové asociace) a Getis Ord vyjadřují shluky vysokých nebo nízkých hodnot. LISA ale nevyjadřuje absolutní chybu, proto je nutné data před vložením do analýzy LISA upravit. Hodnoty byly upraveny na absolutní čísla, aby vůbec analýza proběhla správně. Před samotnou analýzou prostorovými metodami muselo být zjištěno, zdali vůbec data vykazují shlukování. To bylo zjištěno pomocí analýzy Moranovo I, kde výsledkem je z-score, podle kterého se poté určuje, zdali model vykazuje shlukování nebo ne.

Pro modelování prostorové distribuce rostlin byl použit algoritmus Maxent (Maximum Entropy). Jedná se o algoritmus, který má vysokou přesnost predikce a většinou se používá právě pro modelování prostorové distribuce druhů.

### Použitá data

Poskytnutím byla získána data o bobovitých rostlinách. Největším zástupcem bobovitých rostlin v poskytnutých datech je cizrna, dále pak hrách a čočka. Data jsou lokalizována do oblasti Blízkého východu. Konkrétně se jedná o oblasti ve státech Turecko a Arménie. Obsahují polohu výskytu, druh rostliny, rok zaznamenání výskytu a další charakteristiky. Data byla zaznamenávána od roku 2013 do roku 2017 a byla poskytnuta od The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Canberra, Australia. Druhými poskytnutými daty jsou snímky WorldDEM, které byly získány bezplatně i napříč tomu, že se jedná o komerční produkt. Data WorldDEM jsou mezi globálními digitálními modely nejpřesnější a nejpodrobnější.

Dalším typem jsou data, která byla stažena. Jedná se tak o data, která jsou volně dostupná ke stažení. SRTM1 v3 (EarthExplorer, 2017) je první z produktů. Globální DMR s rozlišením 30 metrů na pixel a pokryvností od 60° severní šířky po 56° jižní šířky. Druhým produktem je ASTER GDEM v2 (EarthExplorer, 2017), který má stejné rozlišení, ale má větší pokryvnost, a to od 83° severní šířky po 83° jižní šířky. Co se týče environmentálních proměnných, byla využita datová sada WorldClim verze 2.0 (WorldClim, 2018), která je volně dostupná ke stažení a obsahuje klimatická data a bioklimatické proměnné. Je dostupná ve více rozlišeních, přičemž v bakalářské práci bylo využito nejpřesnější rozlišení (30 úhlových vteřin, což odpovídá zhruba 1x1 km). Konkrétně z proměnných byl využit: úhrn srážek, průměrná roční teplota, nejvyšší

teplota nejteplejšího měsíce, úhrn srážek nejteplejšího čtvrtletí a úhrn srážek nejchladnějšího čtvrtletí.

Posledním typem jsou data vytvořená vlastní analýzou. Jedná se tak o všechny topografické atributy. Mezi primární atributy se řadí nadmořská výška, sklon a orientace reliéfu, mezi sekundární poté heat load index, site exposure index, průměrný sklon, moisture index a wettness index.

### **Použité programy**

Pro prvotní třídění dat byl použit program Total Commander verze 7.56, který umožňuje rychlejší zpracování velkého množství dat. Dalším programem, který byl použit pro analýzu a vizualizaci dat, je program od společnosti Esri, a to ArcGIS Desktop verze 10.4. Do programu byly staženy i volně dostupné nástroje, jako ArcGIS Geomorphometry a Gradient Metrics toolbox (Evans a kol., 2014) nebo SDM tools (Brown a kol., 2017). Některá data, která vznikla analýzou, byla zpracována v programu Microsoft Excel 365. Ostatní vytvořená data byla dále zpracovávána v programu QGIS verze 3.0 nebo QGIS verze 2.18. Verze 3.0 byla díky své funkcionalitě použita pro vizuální hodnocení kvality reliéfu. V programu byl vytvořen 3D model pro vizuální hodnocení jednotlivých detailů DMR. Kvůli nekompatibilitě některých extenzí s verzí QGIS 3.0 musela být použita i starší verze programu QGIS 2.18, ve které byl připraven fyzický 3D model pomocí extenze *DEMto3D*. Pro modelování prostorové distribuce byl využit program Maxent verze 3.4.1 (Philips a kol., 2018). Pro grafické výstupy a infografiku byl využíván program Gimp verze 2.6.11.

### **Postup zpracování**

Prvotně byla provedena rešerše literatury. Rešerše byla zaměřena na vědecké studie zabývající se prostorovou distribucí rostlin, dále pak vlivem a hodnocení kvality DMR a v neposlední řadě také na studie zaměřené na bobovité rostliny.

Po rešerši následovalo stažení a zpracování všech výškových dat DMR. Data byla extrahována a uložena do geodatabáze pro jednodušší práci v programu ArcGIS Desktop. Jednotlivé rastrové dlaždice mozaikovány a byl změněn souřadnicový systém z WGS 1984 na WGS 84/UTM zone 37N. Z použitím získaných rastrů byla provedena analýza stanovištních podmínek. Na základě souřadnic nálezových dat bobovitých rostlin, byly vypočítány topografické atributy jako je sklon svahu, orientace svahu, heat load index, wettness index a další. Topografické atributy byly vypočítány pro místa výskytu dané rostliny.

Dalším postupem bylo hodnocení kvality DMR. Pro hodnocení kvality bylo využito statistických srovnání ale také vizuálních metod hodnocení. Vizuální srovnání bylo provedeno na 3D modelu, který byl vytvořen v programu QGIS 3.0. Funkcionalita nové verze umožňuje nově vizualizovat a prohlížet 3D data pomocí nástroje na prohlížení *New 3D Map View*. Kromě vizuálního srovnání byl pro každý DMR vytvořen profil reliéfu, který ukazoval odchylky u jednotlivých DMR. Následovalo statistické hodnocení kvality DMR. Neprostorové metody (střední kvadratická chyba, absolutní chyba) byly vypočítány v programu MS Excel 365, kde byla vytvořena tabulka i graf. Před samotným výpočtem prostorových metod bylo nutné zjistit, zdali modely opravdu vykazují autokorelaci. Proto byla použita metoda Moranovo I, která se řadí mezi neprostorové metody hodnocení kvality DMR. Metoda prokázala, že modely vykazují autokorelaci, a tedy lze analyzovat

pomocí prostorových metod. Poslední věcí bylo určení prahové vzdálenosti, které udává, kde je shlukování nejvýraznější. Prostorové metody (LISA, Getis Ord) byly vypočítány v programu ArcGIS Desktop 10.4. Hned poté byly vytvářeny mapové výstupy, které se týkaly hodnocení kvality DMR. Následovala příprava dat pro vytvoření 3D fyzického modelu na 3D tiskárně. Data byla přeformátována do formátu potřebného pro tisk a následně byla vytisknuta. Pro tisk byla využita tiskárna Poseidon Duo, která se nachází na katedře Geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci. Pro tisk byl zvolen materiál PLA (polymléčná kyselina).

Posledním úkolem bylo modelování prostorové distribuce bobovitých rostlin, pro které byl použit algoritmus Maxent, který byl počítán ve stejnojmenném programu. Data WorldClim byla nutná nejprve převzorkovat z původního rozlišení, na rozlišení jednotlivých digitálních modelů reliéfu. K environmentálním datům z databáze WorldClim byly postupně přidávány vrstvy topografických atributů. Byl testován vliv topografických atributů na modelování prostorové distribuce druhů.



Obrázek 1: Postup zpracování práce

### 3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Cílem bakalářské práce je ověřit a srovnat kvalitu jednotlivých digitálních modelů. Hlavní důraz je kladen na modelování prostorové distribuce bobovitých rostlin a na srovnání digitálních modelů reliéfu. Na téma srovnání kvality digitálních modelů reliéfu již bylo zpracováno mnoho odborných studií. Tyto odborné práce se však přímo nezabývají vlivem kvality digitálního modelu reliéfu na prostorovou distribuci bobovitých rostlin. V následující kapitole je popsáno modelování prostorové distribuce druhů s rozdělením na dva odlišné přístupy k modelování. Dále jsou uvedeny atributy DMR vstupující do algoritmů využívaných pro SDM. Následuje popis a výskyt bobovitých rostlin s hlavními představiteli, které se v bodových datech vyskytují. V této kapitole jsou také uvedeny DMR, které jsou v práci použity. Na závěr jsou uvedeny metody hodnocení kvality DMR a jejich vliv na kvalitu SDM.

#### 3.1 Digitální modely terénu

Všechny digitální modely se od reálného zemského povrchu odlišují, nicméně obecnou snahou je se mu co nejvíce přiblížit. V anglické literatuře je používán termín DEM (digital elevation model) jako zastřešující pojem pro termíny DTM (digital terrain model) a DSM (digital surface model) (Hirt, 2014; Wood, 2008; Hutchinson a Gallant, 1999). USGS (United States Geological Survey, 2018) ale udává, že pro některé jejich produkty je DEM synonymem pro DTM. V české literatuře se naopak používá DMT (digitální model terénu) jako zastřešující pro DMR (digitální model reliéfu) a DMP (digitální model povrchu). DMR představuje digitální reprezentaci topografické plochy reliéfu a udává nadmořskou výšku zemského povrchu. DMP zobrazuje povrch terénu a všechny antropogenní a přírodní objekty, které se na něm vyskytují (střechy budov, koruny stromů, a další). Podle terminologického slovníku VUGTK (VUGTK – Terminologická komise ČÚZK, 2018) je DMR (DMT): „digitální reprezentace zemského povrchu v paměti počítače, složená z dat a interpolačního algoritmu, který umožňuje mj. odvozovat výšky mezilehlých bodů“. Digitální modely terénu mohou být získávány mnoha způsoby např. pozemní měření, letecká fotogrammetrie, letecké laserové snímkování (LIDAR), radarová altimetrie nebo radarová interferometrie. Použitá metoda získávání dat má vliv na výslednou kvalitu výsledného modelu.

Tabulka 1: Srovnání použitých DMR

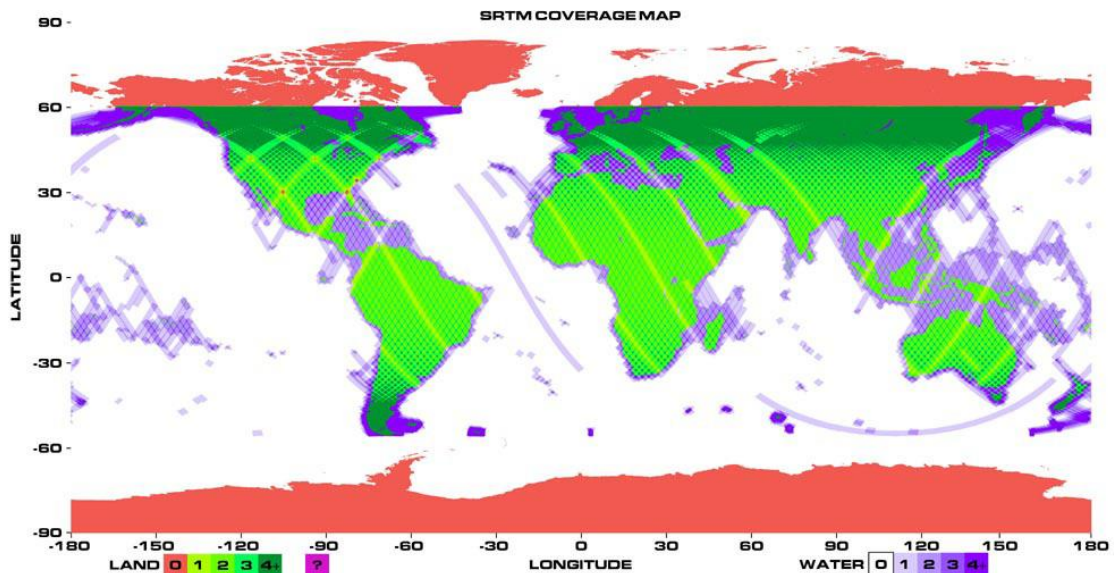
DMR	Rozlišení	vertikální přesnost	horizontální přesnost	pokryvnost
WorldDEM	0,4 arcsec (12 m)	4 m	6 m	90 ° s.š. - 90 ° j.š.
ASTER GDEM v2	1 arcsec (30 m)	20 m	20 m	83 ° s.š. - 83 ° j.š.
SRTM1 v3	1 arcsec (30 m)	16 m	20 m	60 ° s.š. - 54 ° j.š.



### 3.1.1 Shuttle Radar Topography Mission

Mise, která se uskutečnila v únoru 2000, měla za úkol získat data o nadmořské výšce Země, pro vytvoření globálního digitálního modelu reliéfu. Po dobu mise, která trvala 11 dní, byl snímán povrch Země z raketoplánu Endeavour. Technika použitého radarového měření se nazývá IFSAR (radarová interferometrie). Jde o snímání pomocí dvou antén. Jedna anténa byla umístěna v nákladovém prostoru, druhá na 60 metrů dlouhém stožáru. Uskutečněná mise byla společným projektem NGA a NASA.

Jedná se o první globální digitální model reliéfu s vysokým rozlišením. Pokryvnost modelu je mezi 54° jižní šířky a 60° severní šířky (Obrázek 3), což pokrývá zhruba 80 % zemské pevniny. Zpočátku byl volně dostupný model rozlišení 30 metrů jen pro Severní Ameriku a 90 metrů pro zbytek snímané oblasti. V roce 2014 byl vydán SRTM1 v3, který je dostupný v rozlišení 30 metrů pro celou snímanou oblast. Digitální model reliéfu je volně dostupný (NASA-JPL, 2017).



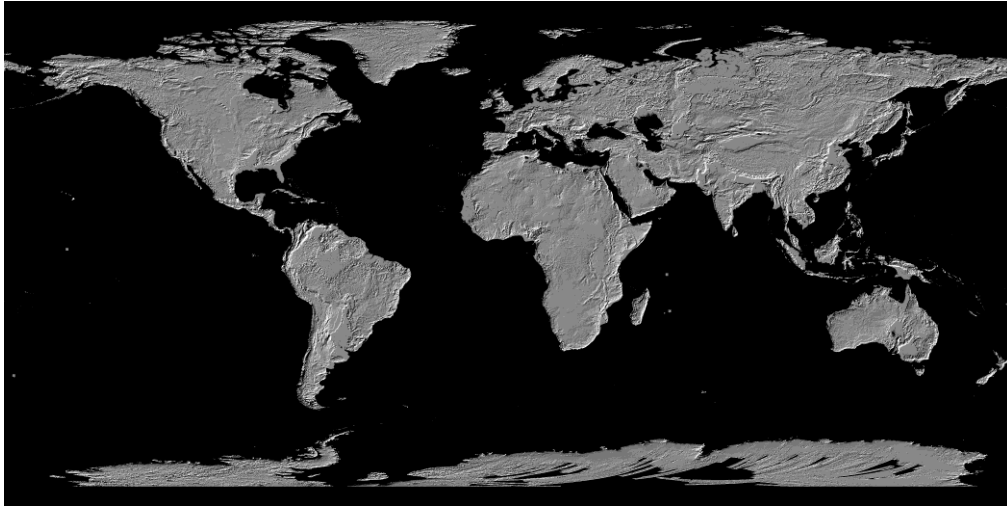
Obrázek 2: Pokryvnost dat SRTM

(zdroj: [https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/images/bin/srtm\\_covmap\\_hi.jpg](https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/images/bin/srtm_covmap_hi.jpg))

### 3.1.2 ASTER GDEM

ASTER GDEM (Advance Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), je společný projekt americké NASA a japonské METI. Senzor, který snímá povrch byl umístěn na satelitu Terra, který byl vypuštěn do kosmu v roce 1999. Na palubě satelitu byly umístěny další 4 senzory. Senzor byl schopen zachytit data ve vysokém rozlišení, které byly dostupné ve 14 pásmech od viditelného do infračerveného spektra.

První verze DMR byly vydána v roce 2009. Pokryvnost modelu je od 83° jižní šířky po 83° severní šířky. Bylo tak pokryto 99 % zemské pevniny (Obrázek 4), což dělalo z ASTER GDEM nejobsáhlejší DMR, který byl kdy vytvořen. Rozlišení DMR je 30 metrů. V roce 2011 byla vydána aktualizace na verzi 2, která zvyšovala vertikální a horizontální přesnost. Stejně jako SRTM je i ASTER volně dostupný (NASA-ASTER, 2017).



Obrázek 3: Pokryvnost dat ASTER GDEM

(zdroj: <https://asterweb.jpl.nasa.gov/images/GDEM-10km-BW.png>)

### 3.1.3 WorldDEM

Satelit TanDEM-X byl vypuštěn v roce 2010, jedná se tak o dvojčce TerraSAR-X, který byl vypuštěn o tři roky dříve. TanDEM-X je společným projektem DLR a Airbus Defence and Space. Oba dva satelity snímaly povrch současně, pomocí metody radarové interferometrie (InSAR). SRTM měla snímače umístěné na jediném satelitu, kdežto tady fungoval TanDEM-X jako první snímač a TerraSAR-X jako snímač druhý.

Výsledný produkt WorldDEM byl vydán v roce 2014. Model pokrývá 97 % povrchu pevniny. Rozlišení modelu je 12 metrů na pixel, což je v současnosti nejlepší rozlišení globálního digitálního modelu reliéfu. Absolutní vertikální přesnost modelu je čtyři metry, absolutní horizontální přesnost je šest metrů. Relativní vertikální přesnost modelu je do sklonu 20 ° dva metry. Oproti dvěma výše zmiňovaným modelům se jedná o komerční produkt. (CONCAR, 2015).

## 3.2 Hodnocení kvality DMR

Kvalita je pro hodnocení DEM velmi obecný pojem. Do kvality lze zahrnout aktuálnost, kompletnost, dostupnost či vhodnost dat, dále také topografickou, polohovou a atributovou přesnost (Burrough a McDonnell, 1998). Přesností se rozumí, jak moc se hodnoty nadmořské výšky DMR liší od skutečných hodnot na zemském povrchu.

Kvalitu digitálních modelů lze hodnotit dvěma způsoby. Prostorovými a neprostorovými metodami. Mezi neprostorové metody se řadí:

- Střední kvadratická chyba (RMSE),
- celková absolutní chyba,
- Hammock Index,
- Moranovo I,
- G statistika a další.

Mezi prostorové metody lze zařadit:

- Hammock plot,

- LISA,
- Gi\*.

### **Střední kvadratická chyba**

RMSE (root mean square error) je nejpoužívanější metoda hodnocení kvality DMR. Jedná se o globální metodu, která je použita ve spoustě prací (Butler a kol., 1998; Hirano a kol., 2003; Hirt a kol., 2010 a další). RMSE měří rozptyl rozdělení četnosti odchylek mezi referenčními daty a srovnávanými daty DMR. Větší hodnoty vyjadřují větší rozptyl mezi porovnávanými digitálními modely.

$$RMSE_Z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_{di} - Z_{ri})^2$$

$Z_{di}$  = Hodnota nadmořské výšky povrchu DMR

$Z_{ri}$  = Referenční nadmořská výška

n = počet kontrolovaných bodů

### **Absolutní chyba**

AE (absolute error) vyjadřuje skutečnou velikost všech odchylek od referenčních dat v kladném i záporném směru (Svobodová a kol., 2009).

$$AE = \sum_{i=1}^n |Z_{di} - Z_{ri}|$$

$Z_{di}$  = Hodnota nadmořské výšky povrchu DMR

$Z_{ri}$  = Referenční nadmořská výška

### **Hammock Index**

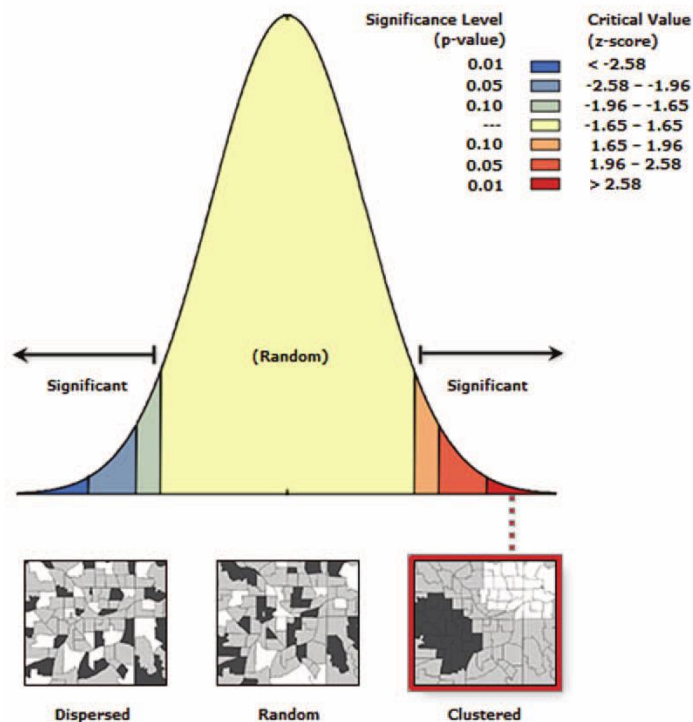
Globální metoda pro hodnocení kvality DMR. Sleduje rovnoměrnost rozložení interpolovaných hodnot mezi známými hodnotami, dále sleduje nadměrný výskyt pixelů s nadmořskou výškou odpovídající hodnotám původních dat a provádí se zejména pokud jsou vstupními daty vrstevnice (Wood, 1996).

### **Vážené pořadí**

DMR lze seřadit od nejméně kvalitních po nejlépe kvalitní právě pomocí váženého pořadí. Vážené pořadí se určí podle pořadí v jednotlivých neprostorových charakteristikách. Každé dílčí pořadí se poté vynásobí zvolenou váhou a následně se všechny vážené dílčí pořadí sečtou do celkového váženého pořadí. Ve výsledku dostaneme vážené pořadí bez použití ostré hranice.

## Moranovo I

Měří prostorovou autokorelaci na základě vzdálenosti mezi prvky a hodnot jejich atributů. Ve výsledku Moranovo I vyjadřuje, zdali model vykazuje shlukování, rozptyl nebo náhodnost rozdělení. Gajovic a Todorovic (2013) využili Moranovo I pro prostorovou analýzu požárů v Srbsku v letech 2000–2013. Pokud z-score je výrazněji v záporných hodnotách, požáry mají tendenci k rozptylu, pokud je však razantně v kladných, požáry mají tendenci ke shlukování. Hodnoty, které se nachází kolem nuly odpovídají četnosti náhodnému rozdělení.



Obrázek 4: Moranovo I (prostorová autokorelace)

## Lokální indikátory prostorové asociace – LISA

Tuto metodu lze zařadit do prostorových metod hodnocení kvality DMR. Jedná se o lokální metodu prostorové autokorelace. Proto LISA nezobrazuje absolutní hodnoty chyb, které byly získány rozdílem porovnávaného a referenčního DMR, ale vymezuje shluky statisticky významných chyb (Svobodová, 2011). LISA dokáže identifikovat shluky s podobnými hodnotami a shluky s rozdílnými hodnotami (nezabývá se velikostí hodnot).

## Getis-Ord $G_i^*$

Stejně jako LISA i Getis-Ord  $G_i^*$  je lokální metodou hodnocení kvality DMR.  $G_i^*$  je používán pro identifikaci rozmístění shluků v prostoru. Rozlišuje, pokud se jedná o shluky vysokých hodnot (hot spots) nebo shluky nízkých hodnot (cold spots).

### 3.3 Modelování prostorové distribuce druhů

SDM (species distribution modeling) je zásadní pro základní i pokročilejší výzkum v biogeografii (Araújo a Guisan, 2006). Někdy se používá synonymum, modelování ekologických nik (ENM). Jedná se o využívání algoritmů k predikci distribuce druhů, kdy do jednotlivých algoritmů vstupuje celá řada dat. Podle Franklin (2009) jsou primárními faktory:

- klimatické mapy,
- digitální modely reliéfu,
- půdní faktory,
- geologické mapy.

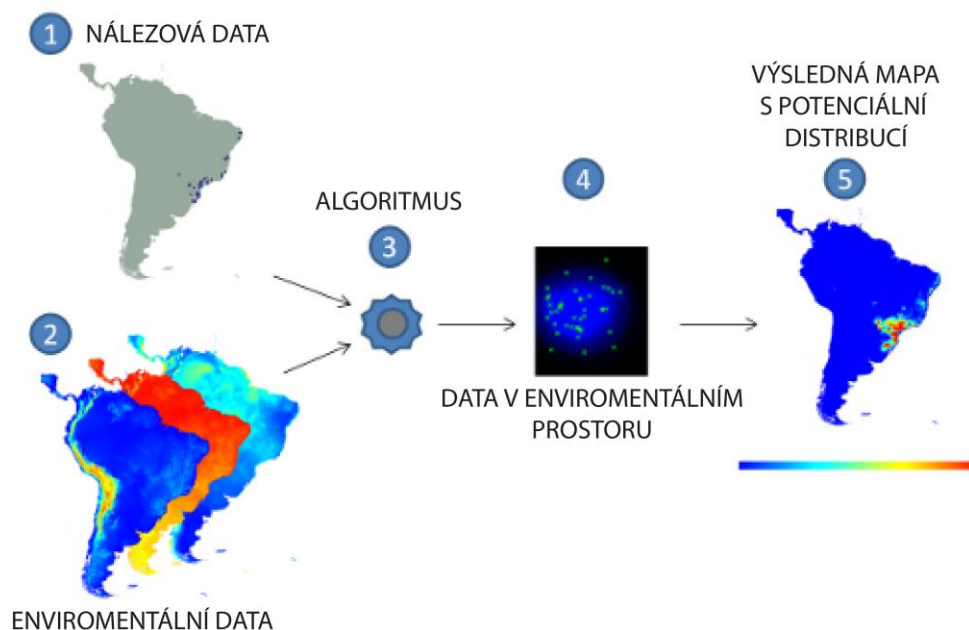
Dalšími faktory mohou být:

- vegetační mapy,
- snímky dálkového průzkumu Země,
- data o krajinném pokryvu,
- disturbance (požár, povodeň, polomy a jiné).

Modely prostorové distribuce mohou být děleny na dvě skupiny, a to na korelativní modely (Obrázek 2) a mechanistické modely.

Korelativní modely jsou široce používány k predikci prostorové distribuce druhů a vlivů klimatických změn (Thomas a kol. 2004). Podle Beerlingera (1995) využívají korelativní modely spojení nálezových dat s vrstvami environmentálních dat ze studované oblasti, které implicitně zachycují procesy omezující prostorovou distribuci druhů. Oproti mechanistickým modelům jsou jednodušší a pružnější na požadavky dat, lepší v použití volně dostupných datových balíků a rozsahů interakcí (biotických a abiotických), které jsou schopny detekovat a charakterizovat (Kearney a kol., 2010).

Mechanistické modely používají funkční vlastnosti druhu a psychologickou toleranci pro vhodné nastavení modelu. Hlavní nevýhodou mechanistických modelů je taková, že vyžadují více času, úsilí a dat pro konstrukci a validaci (Kearney a Porter, 2009). Kearney a Porter (2009) ve své práci detailně popisuje rozdíly mezi korelativním (statistickým) a mechanickým (psychologickým) přístupem.



Obrázek 5: Korelativní přístup pro SDM

Editováno z: (<http://openmodeller.sourceforge.net/overview.html>)

### 3.3.1 Maxent

Maximum Entropy (Maxent) je jedním z algoritmů počítající modelování prostorové distribuce druhů. Jedná se o modelovací techniku, která dosahuje vysoké přesnosti predikce, výsledek metody je však ovlivněn počtem parametrů (Phillips a Dudík, 2008).

Software Maxent je nyní open source software a aktuální verze je 3.4.1. Byl vyvinut za účelem použití metody maximální entropie (Phillips a kol., 2004). Jako vstupy zde slouží environmentální rastrové vrstvy (např.: klimatické) a nálezová (výskytová) data. Každá buňka rastru má předpokládanou vhodnost podmínek pro daný druh. Výstup lze poté interpretovat jako předpokládanou pravděpodobnost přítomnosti daného druhu nebo jako předpokládaný lokální výskyt. Software je volně ke stažení na adrese: [https://biodiversityinformatics.amnh.org/open\\_source/maxent/](https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/).

### 3.3.2 Digitální modely reliéfu a SDM

Derivace topografických atributů z DMR a jejich použití v analýzách, bylo jednou z prvních úkolů řešených v geoinformačních vědách. Topografické atributy mají velký vliv na modelování prostorové distribuce druhů. Speight (1974) popisuje přes 20 topografických atributů, které mohou být použity k popsání půdy. Moore a kol. (1991) rozlišuje primární topografické atributy, které jsou odvozeny přímo z DMR. Sekundární atributy jsou vypočítány kombinací primárních atributů. Primárními atributy jsou:

1. **Nadmořská výška** ovlivňuje teplotní a srážkový režim.
2. **Sklon** určuje stoupání svahu, měří tak míru změny nadmořské výšky ve směru nejstrmějšího svahu. Udává se v stupních nebo procentech. Má vliv na povrchový i podpovrchový odtok vody, který následně ovlivňuje vlhkost a texturu půdy. Sklon se dá získat více metodami, z nichž je nejjednodušší

metoda „kvadratického povrchu“ (Zevenbergen a Thorne, 1987), což je první derivace nadmořské výšky.

3. **Oriente** sklonu svahu je orientace linie ve směru nejstrmějšího poklesu svahu a určuje směr svahu. Ovlivňuje nejvíce solární radiaci, což je energie slunečního záření, která dopadá na povrch Země. Největší roční úhrn solární radiace se nachází v oblastech kolem rovníku. Orientace je měřena ve směru hodinových ručiček od severu.
4. **Specifická velikost povodí** (specific catchment area) je poměr plochy povodí, která je ohraničena dvěma spádovými křivkami a počátečním vrcholem, k délce vrstevnice (Gallant a Hutchinson, 2011). Podle Quinn a kol. (1991) SCA souvisí s objemem a rychlostí odtoku a tím pádem i s vlhkostí půdy.
5. **Svahová křivost** je druhou derivací výšky. Určuje konkávnost nebo konvexnost svahu a dělí se na profilovou křivost a planární křivost. Profilová křivost vyjadřuje míru změny sklonu ve směru linie odtoku, planární poté míru změny orientace podél vrstevnic.
6. **Hillslope position** je podle Skidmore (1990) relativní vzdálenost mezi nejbližším hřbetem a vodním tokem. V geomorfologii se dělí na kategorie (Hřbet, horní svah, střední svah, spodní svah atd.)

Sekundární atributy:

1. **TWI** (topographic wetness index) taktéž nazývaný jako CTI (Compound topographic index) je index ustáleného stavu vlhkosti. Charakterizuje oblasti náchylné k rychlému nasycení půdy, které mají potenciál produkovat povrchový odtok. Gessler a kol. (1995) popisuje CTI jako predikci hloubky půdní vrstvy. Pro výpočet se používá vztah:

$$W_T = \ln\left(\frac{A}{\tan \beta}\right)$$

Kde A je plocha přispívající vodu a  $\beta$  je sklon.

2. **Solární radiace** je záření vyzářené Sluncem. Pro SDM se používá krátkovlnné záření. Předpokládaný přísun solární radiace může být vypočten pomocí Sklonu, Orientace a v některých případech i zeměpisné šířky (McCune, 2007)
3. **Teplota** je často prostorově interpolována z dat meteorologických stanic. Někdy jsou tyhle data vylepšeny DMR, kvůli efektu nadmořské výšky na teplotu nebo sklonu a orientace na solární radiaci (Daly a kol., 2008).
4. **Site Exposure Index** (Balice a kol., 2000) změni orientaci na severní nebo jižní osu a váží jí strmostí svahu. Výsledné hodnoty se pohybují v rozmezí -100 až 100, od nejchladnějších po nejteplejší.
5. **Heat Load Index** (McCune a Keon, 2002) je index příjmu tepla povrchu, kde jihozápadní svahy jsou teplejší než severovýchodní svahy, které jsou naopak nejstudenější. Metoda počítá kromě orientace svahu i s jeho sklonem. Výsledkem HLI jsou hodnoty v rozmezí od 0 do 1, což je od nejchladnějšího po nejteplejší.

6. **Integrated Moisture Index** (Iverson a kol., 1997) je odhad půdní vlhkosti v topograficky heterogenní krajině. Do výpočtu vstupuje stínovaný reliéf, svahová křivost a flow accumulation.
7. **Průměrný sklon** je sklon, který je definován z okna o libovolném počtu sousedních buněk.

### 3.3.3 Vliv kvality DMR na SDM

#### Rozlišení DMR pro využití v SDM

Rozlišení u globálních DMR se stále zlepšuje a nyní jsou dostupné modely v rozlišení od 12 do 50 m (např.: 12x12 m, 30x30 m na pixel). Globální topografická data jsou dostupná v rozlišení 30 úhlových vteřin, což je zhruba 250 m na pixel. Hutchinson (1996) navrhl, že DMR s lepším rozlišením jsou potřeba pro přesný model topo-hydrologických proměnných, které se využívají v SDM. DMR s velmi vysokým rozlišením jsou dostupné pouze pro některá území. Jedna studie ukazuje, že sklon vypočítaný ze 100 sousedních buněk o rozlišení 1x1 metr, má největší předpovědní schopnost pro alpské rostliny v SDM (Lassueur a kol., 2006). Orientace byla optimalizována na 20x20 m, což naznačuje, že DMR s mírně vyšším rozlišením mají pravděpodobně dostatečné rozlišení pro určení jednoduchých topografických atributů (Franklin a Miller, 2009).

#### Chyby v DMR

Chyby mohou negativně ovlivňovat modelování prostorové distribuce druhů tím, že v místě stanoviště je určena chybně nadmořská výška, sklon nebo orientace. Následně jsou ovlivněny i sekundární topografické atributy. Jednoznačný, měřitelný a rozpoznatelný rozdíl hodnot mezi porovnávanými digitálními modely reliéfu a skutečnými daty, lze považovat za chybu. Velikost chyb většinou záleží na členitosti terénu (Hunter a Goodchild, 1997).

Chyby se dělí na hrubé, systematické a náhodné (Klingseisen a kol., 2004). Hrubé chyby představují selhání technického nebo lidského faktoru. Tyhle chyby lze snadno vyhledat a odstranit, jelikož se většinou jedná o extrémní hodnoty. Systematické chyby mohou vzniknout v průběhu zpracování dat nebo při nedostatku měření (Wise, 2000). Systematické chyby se chovají podle nějakého pravidla. Příkladem systematické chyby je posun ve vertikále kvůli špatnému určení nadmořské výšky základního geodetického bodu. Náhodné chyby nelze vhodně modelovat a jejich četnost rozdělení odpovídá náhodnému rozdělení.

Všechny typy chyb společně s rozlišením ovlivňují derivaci primárních a sekundárních atributů (Hunter a Goodchild, 1997). Tyhle chyby se pak dále můžou šířit do SDM. Holmes a kol. (2000) poukazuje na to, že i malá chyba ve výškových datech může významně ovlivnit atributy jako např. sklon nebo TWI. Van Niel a Austin (2007) zjistili, že na relativně jemném topografickém terénu je chybou DMR ovlivněn více sekundární atribut, a to solární radiace, než primární topografické atributy jako sklon a orientace. Tyhle chyby ale mohou být jiné v oblastech se strmějším a více členitým reliéfem. Další studie ukazuje, že některé teplotní proměnné (sezónní minimum) korelovaly



s nadmořskou výškou v určité menší lokaci. Zatímco ostatní (sezónní maximum) korelovaly průměrně s nadmořskou výškou nad většími oblastmi. Tohle má poté důsledek na měřítko, ve kterém jsou terénní proměnné derivovány pro SDM (Ashcroft, 2006).

### **3.4 Rostliny čeledi Fabaceae**

Práce se zabývá vlivem kvality DMR na prostorovou distribuci bobovitých rostlin. Podobným výzkumem se zabývala studie Kemp a Dowling (1991), kde byl zkoumán pouze vliv nadmořské výšky a úhrnu srážek. Čeleď fabaceae, česky bobovité, je třetí největší čeleď na světě (podle počtu zástupců). Patří do ní 730 rodů a 19 400 druhů. Nejpočetnějším rodem je kozinec (*Astragalus* L.), který má více než 2 000 druhů. Dalšími četnými rody jsou akácie (*Acacia* MILL.) s více než 900 druhy a indigoovník (*Indigofera* L.) s četností přes 700 druhů (Pelikán, 2012). V ČR je evidováno 44 rodů. Bobovité rostliny se vyskytují téměř na celém světě.

#### **3.4.1 Význam**

Rostliny čeledi fabaceae mají velký význam. Některé rostliny jsou důležitými potravinami, které jsou zdrojem bílkovin jak pro člověka, tak pro hospodářská zvířata. Mezi tyhle rostliny se řadí fazole, čočka, hrách, a jiné. Z některých rostlin jsou vyráběny oleje pro průmyslové využití (sója, podzemnice olejná). Další zástupci čeledi jsou využíváni jako okrasné stromy, keře nebo byliny. Stromy jsou poté využívány v řezbářství, bednářství a ve vinohradnictví (Pelikán, 2012). Motýlokvěté rostliny jsou typické vysokým obsahem nektaru. Výnosy medu z jednoho hektaru porostu akátu se pohybují mezi 50 až 1 000 kg u jetele lučního mezi 20 až 148 kg. V minulosti byly některé druhy využívány jako barvivo. Motýlokvěté rostliny se používají v zemědělství jako předplodina. Zanechávají v půdě humus a vzdušný dusík pro další plodiny. Tím tak zvyšují úrodnost půdy.

#### **3.4.2 Cizrna**

Rod cizrny obsahuje kolem 40 jednoletých druhů. Vyskytují se v Přední Asii, na Balkáně a severní Africe. Hospodářsky se využívá pouze cizrna beraní. Cizrna beraní je třetí nejpěstovanější luskovina na Světě (Houba a kol., 2009). Semena cizrny beraní mají vysokou výživovou hodnotu. Semena obsahují 13 až 31 % bílkovin, 48 až 61 % škrobu, 4 až 7 % tuku a 2 až 12 % vlákniny. Květy jsou červeně fialové nebo bílé. Plodem cizrny je lusk, který za sucha nepuká a ani neopadává. Semena jsou téměř kulovitá nebo hruškovitá, připomínající beraní hlavu. Cizrna je poměrně náročná na teplo v době květu a nasazování lusku. Není však náročná na vláhu, která často může způsobit zahnívání a tvoření houbových chorob. Co se týče půd, tak se cizrně daří v lehkých půdách, což jsou písčité a hlinité půdy. Výsev rostliny se provádí na jaro, později se snižují výnosy. Vegetační doba se pohybuje od 70 do 110 dnů (Pelikán, 2012).

#### **3.4.3 Hrách**

Jednoletá bylina jejíž gencentrum se nachází v jižní Evropě, jihovýchodní Asii a Severozápadní Africe. Nejvýznamnějším druhem z rodu je hrách setý. Má poléhavé a popínavé lodyhy a vřetenovité kořeny. Využívá se v potravinářství a k výživě

hospodářských zvířat. Jeho semena obsahují velké kalorické hodnoty. Dále obsahuje bílkoviny, vitamíny A, B, C, E a jiné látky lidskému tělu prospěšné. Hrách lze pěstovat téměř ve všech podmínkách. V suchých a teplých podmínkách mu hrozí napadení zrnokazem hrachovým. Ve vlhkých a zastíněných polohách může být napaden houbovými chorobami. Lusk hrachu je plochý, válcový nebo vypouklý a obsahuje 4 až 10 semen podle genotypu. Semena jsou hladká kulovitá, ale někdy můžou být svaštělá (Houba, 2009). Barva semen je zelená, žlutá nebo hnědá. Vegetační doba hrachu je v rozmezí od 70 do 140 dní (Pelikán, 2012).

#### **3.4.4 Čočka**

Rod obsahuje přibližně 5 jednoletých druhů. Rod je rozšířen ve Středozeří a jihozápadní Asii. Rod má tenké lodyhy a vřetenovité kořeny. Nejvíce rozšířená je čočka kuchyňská. Ta je pěstována hlavně pro využití semen a také zelené hnojení. Je to jednoletá bylina s bílými až namodralými květy. Lusky jsou světle nebo rezavě hnědé a obsahují 1 až 2 semena. Ty mají čočkovitý tvar, jsou zploštělá a hladká (Lahola, 1990). Semena klíčí při teplotě 4 až 5°C a rostliny poté snášejí teploty do -6°C (Pelikán, 2012). Na teplo je náročná při kvetení a době dozrávání semen. Daří se jí v půdách písčitých až hlinitopísčitých.

## 4 VLASTNÍ ŘEŠENÍ

V následující kapitole jsou popsány způsoby přípravy, zpracování, analýzy a interpretace dat. Hlavním cílem práce bylo srovnat digitální modely reliéfu a zjistit, zdali kvalita digitálních modelů ovlivňuje predikci prostorové distribuce rostlin. Popis postupu práce je seřazen chronologicky od prvotního zpracování až po interpretaci a vizualizaci dat.

### 4.1 Příprava a zpracování dat

Volně dostupná data (ASTER GDEM v2, SRTM1 v3) byla nejprve stažena do počítače. Společně s poskytnutými daty WorldDEM, která byla v komprimované podobě, musely být extrahovány. Pro extrakci velkého množství dat a urychlení práce byl použit program Total Commander (Obrázek 6).

↑ Název	Příp	Velikost	Datum	Atributy	↑ Název	Příp	Velikost	Datum	Atributy
ASTGTM2_N35E025..tif	25 963 722	15.03.2011 08:25	-a-		ASTGTM2_N35E025.zip	7 405 435	07.10.2011 14:46	-a-	
ASTGTM2_N35E026..tif	25 963 722	15.03.2011 07:44	-a-		ASTGTM2_N35E025.xml	2 963	19.05.2015 17:14	-a-	
ASTGTM2_N35E027..tif	25 963 722	15.03.2011 09:55	-a-		ASTGTM2_N35E026.zip	3 360 684	07.10.2011 14:46	-a-	
ASTGTM2_N35E032..tif	25 963 722	15.03.2011 08:23	-a-		ASTGTM2_N35E026.xml	2 961	19.05.2015 17:14	-a-	
ASTGTM2_N35E033..tif	25 963 722	15.03.2011 09:03	-a-		ASTGTM2_N35E027.zip	2 607 805	07.10.2011 14:46	-a-	
ASTGTM2_N35E034..tif	25 963 722	15.03.2011 08:03	-a-		ASTGTM2_N35E027.xml	2 961	19.05.2015 17:14	-a-	
ASTGTM2_N35E035..tif	25 963 722	15.03.2011 08:53	-a-		ASTGTM2_N35E032.zip	3 568 494	07.10.2011 12:19	-a-	
ASTGTM2_N35E036..tif	25 963 722	15.03.2011 07:31	-a-		ASTGTM2_N35E032.xml	2 963	19.05.2015 16:38	-a-	
ASTGTM2_N35E037..tif	25 963 722	15.03.2011 08:27	-a-		ASTGTM2_N35E033.zip	6 566 114	07.10.2011 12:18	-a-	
ASTGTM2_N35E038..tif	25 963 722	15.03.2011 07:47	-a-		ASTGTM2_N35E033.xml	2 963	19.05.2015 16:38	-a-	
ASTGTM2_N35E039..tif	25 963 722	15.03.2011 10:03	-a-		ASTGTM2_N35E034.zip	2 500 078	07.10.2011 12:18	-a-	
ASTGTM2_N35E040..tif	25 963 722	15.03.2011 08:25	-a-		ASTGTM2_N35E034.xml	2 963	19.05.2015 16:38	-a-	
ASTGTM2_N35E041..tif	25 963 722	15.03.2011 09:08	-a-		ASTGTM2_N35E035.zip	4 229 139	07.10.2011 15:05	-a-	
ASTGTM2_N35E042..tif	25 963 722	15.03.2011 08:05	-a-		ASTGTM2_N35E035.xml	2 963	19.05.2015 17:17	-a-	
ASTGTM2_N35E043..tif	25 963 722	15.03.2011 08:44	-a-		ASTGTM2_N35E036.zip	15 846 324	07.10.2011 15:05	-a-	
ASTGTM2_N35E044..tif	25 963 722	15.03.2011 07:08	-a-		ASTGTM2_N35E036.xml	2 964	19.05.2015 17:17	-a-	
ASTGTM2_N35E045..tif	25 963 722	15.03.2011 08:31	-a-		ASTGTM2_N35E037.zip	13 740 855	07.10.2011 15:05	-a-	
ASTGTM2_N35E046..tif	25 963 722	15.03.2011 07:51	-a-		ASTGTM2_N35E037.xml	2 964	19.05.2015 17:17	-a-	
ASTGTM2_N35E047..tif	25 963 722	15.03.2011 10:12	-a-		ASTGTM2_N35E038.zip	12 835 311	07.10.2011 15:05	-a-	
ASTGTM2_N35E048..tif	25 963 722	15.03.2011 07:03	-a-		ASTGTM2_N35E038.xml	2 964	19.05.2015 17:17	-a-	
ASTGTM2_N35E049..tif	25 963 722	15.03.2011 06:52	-a-		ASTGTM2_N35E039.zip	13 084 627	07.10.2011 15:05	-a-	
ASTGTM2_N35E050..tif	25 963 722	15.03.2011 08:08	-a-		ASTGTM2_N35E039.xml	2 964	19.05.2015 17:17	-a-	
ASTGTM2_N36E025..tif	25 963 722	15.03.2011 06:58	-a-		ASTGTM2_N35E040.zip	13 164 390	07.10.2011 13:37	-a-	
ASTGTM2_N36E026..tif	25 963 722	15.03.2011 06:47	-a-		ASTGTM2_N35E040.xml	2 964	19.05.2015 17:02	-a-	

Obrázek 6: Snímek obrazovky z programu Total Commander s upravenými daty (vlevo) a neupravenými daty (vpravo)

Po extrahování všech dat DMR byla data zpracována v programu ArcGIS Desktop verze 10.4. Hlavním cílem práce bylo srovnat kvalitu DMR. WorldDEM je z pohledu práce brán jako referenční DMR. Jelikož data WorldDEM jsou poskytnuta pouze v omezeném množství, bylo nutné jim přizpůsobit ostatní datové sady a najít nejvhodnější souřadnicový systém.

Pro všechny datové sady byl vytvořen *raster dataset*. Celkem 9 rastrových dlaždic tak bylo spojeno do jednoho datasetu, se kterým se později pracovalo. Pro vytvoření datasetu byl použit nástroj *Mosaic* do kterého bylo nahráno 9 vstupujících rastrových dlaždic u každé datové sady zvlášť. Ve výsledku byl vytvořen rastrový dataset pro data ASTER GDEM v2, SRTM1 v3 a WorldDEM. Po nahlédnutí do vlastností jednotlivých DMR jsou patrné první rozdíly. WorldDEM má hodnoty nadmořských výšek v datovém formátu FLOAT. Zatímco SRTM1 v3 a ASTER GDEM v2 mají datový formát INTEGER. Dalším rozdílem je také barevná hloubka, která je u dat WorldDEM 32 bitová a u zbylých dvou jen 16 bitová.

Data WorldDEM se nacházela pouze na území Turecka. Jako nejvhodnější souřadnicový systém byl proto zvolen WGS 84/UTM zone 37N. Zvolený souřadnicový systém se většinou používá pro topografické mapování velkého a středního měřítka (EPSG.IO, 2016). Při zjišťování správného souřadnicového systému byla použita vrstva UTM zón, která je dostupná na geoportálu Kalifornské univerzity v Los Angeles: <http://sandbox.idre.ucla.edu/mapshare/data/world/data/utmzone.zip>. Mřížka byla stažena jako polygonová vrstva, která určuje UTM zóny pro celý povrch Země. Po vložení mřížky do programu ArcGIS Desktop 10.4 a porovnáním s daty WorldDEM (Obrázek 7), byl zvolen souřadnicovým systém WGS 84/UTM zone 37N.



Obrázek 7: Data WorldDEM v souřadnicovém systému WGS UTM zone 37N

Snímek obrazovky z programu ArcGIS Desktop 10.4

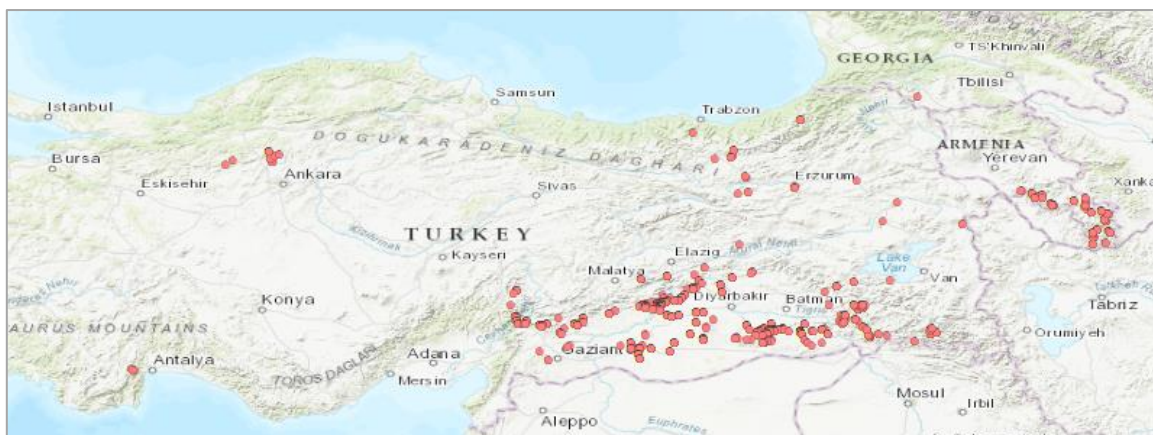
Po vytvoření raster datasetů byla nutná změna projekce pro všechny datové vrstvy, které byly v souřadnicovém systému WGS 1984. Důvodem byla skutečnost, že v software ArcGIS Desktop 10.4 nelze bez zvolené projekce vytvářet topografické atributy, jako je například sklon nebo orientace. Změna projekce byla docílena nástrojem *Project Raster* u všech použitých datových vrstev.

## 4.2 Analýza stanovištních podmínek

Pro projekci dat následoval výpočet zvolených topografických atributů, kterými byly: sklon, orientace, compound topographic index, heat load index, integrated moisture index, site exposure index a mean slope. Kromě sklonu a orientace byly všechny atributy vypočítány pomocí Geomorphometry a Gradient Metrics toolbox, který je volně dostupný ke stažení na adrese: <http://evansmurphy.wixsite.com/evansspatial/arcgis-gradient-metrics-toolbox>.

Jedná se o toolbox s různými nástroji, určenými k povrchovým analýzám. Každý nástroj počítá jiný topografický atribut, které jsou popsány v kapitole 3.1.2. Z pohledu práce je nutné zmínit, že pro nastavení průměrného sklonu reliéfu bylo zvoleno okno 3x3 sousedních buněk. Bylo vytvořeno sedm nových rastrů pro každý digitální model reliéfu. Celkově tak bylo vytvořeno 21 rastrů.

Poskytnutá nálezová data, byla taktéž převedena do souřadnicového systému WGS UTM zone 37N. Data WorldDEM nepokrývají celou oblast, kde se bodová data vyskytují, proto nebylo nutné hledat jiný souřadnicový systém, který by překryl celou oblast bodových dat. Bodová data obsahují celkem 3 703 záznamů. Využitelných, pro analýzu stanovištních podmínek DMR v místě nálezů dat, bylo jen 1 460. Ostatní body leží mimo území, které je pokryto daty WorldDEM.



Obrázek 8: Data stanovišť bobovitých rostlin v souřadnicovém systému WGS 1984

Snímek obrazovky programu ArcGIS Desktop 10.4

Pro porovnání jednotlivých DMR v místě stanovišť výskytu rostlin bylo potřeba získat hodnoty všech rastrů s topografickými atributy. Body byly opět extrahovány v programu ArcGIS Desktop 10.4, kde byl použit nástroj *Extract Multi Values to Point*. Zvolený nástroj dokáže extrahovat hodnotu z rastru a přiřadit ji do atributové tabulky dané bodové vrstvy. Po dokončení běhu nástroje byly získány hodnoty nadmořských výšek, sklonu, orientace a dalších atributů v daných bodech.

Následně byla bodová data vyexportována jako tabulka. Tabulka poté byla zpracovávána v programu Microsoft Excel 365. Jelikož bodová data obsahovala přes 250 atributů, byly nepotřebné atributy vymazány. Ponecháno bylo pouze ID, rok přidání stanoviště do databáze, stát, druh rostliny. K těmto původním datům byla přidány nové vypočítané atributy. Dále byly odstraněny záznamy, které se nenacházely na území pokrytém digitálním modelem reliéfu.

### 4.3 Hodnocení kvality DMR

Jakmile byla editace dat dokončena, byl nutný výpočet neprostorových metod hodnocení kvality DMR. V práci bylo využito metody RMSE a AE. Výsledky těchto analýz jsou interpretovány v kapitole 5.1.1 Neprostorové metody.

V dalším postupu práce bylo potřeba vybrat stejné území pro všechny tři digitální modely reliéfu. Jako sledované území poslouží jedna dlaždice staženého DMR. Tou je dlaždice, která se nachází mezi 39° až 40° východní délkou. Zespodu a shora je ohraničená 38° až 39° severní šířkou. Uvedená dlaždice je situována do hornaté oblasti s větším počtem jezer a přehrad. Nachází se zde Kebanská přehrada, což je jedna z největších přehrad na blízkém východě, kterou napájí řeka Eufrat. Dále pak město Elazig, které je centrem stejnojmenné provincie.

Pro srovnání třech různých digitálních modelů reliéfu s odlišným rozlišením by bylo potřeba DMR převzorkovat na shodné rozlišení. Aby nebyla narušena původní struktura dat a jejich přesnost, byl zvolen jiný postup. Pro celou velikost dlaždice byla vytvořena síť bodů. Síť měla celkově přes 68 milionů bodů. Ty byly rozestavěny v pravidelné mřížce s rozestupem 12 metrů. Pro vytvoření mřížky byl využit nástroj *Create Fishnet*.

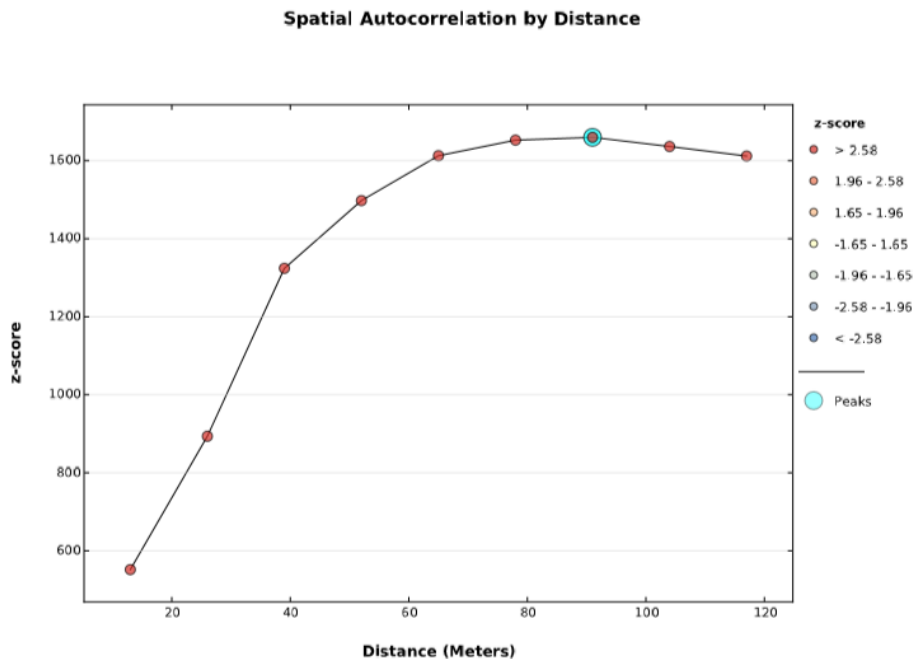
Hodnoty z rastru do atributové tabulky vytvořené bodové vrstvy byly opět extrahovány pomocí nástroje *Extract Multi Values to Point*. Jelikož se jednalo o velké množství extrahovaných hodnot, časová náročnost použitého nástroje byla enormní. Atributy dané bodové vrstvy byly pouze nadmořská výška z dat ASTER GDEM v2, SRTM1 v3 a WorldDEM. Výsledná vytvořená bodová vrstva měla sloužit pro prostorové hodnocení kvality DMR. Kvůli velkému počtu bodů a velké časové náročnosti bylo následně vybráno menší území, na kterém byla data DMR hodnocena. Území obsahovalo celkově kolem 174 000 srovnávacích bodů a velikost území byla zhruba 2x2 km. Pro zvolené území byly vypočítány prostorové analýzy LISA a Getis – Ord.

Tabulka 2: struktura vytvořených bodových dat

OID	Shape	Aster_alt	SRTM_alt	WDEM_alt
1	Point	1023	1032	1062,736
2	Point	1025	1033	1063,842
3	Point	1028	1034	1065,128
4	Point	1030	1035	1066,391
5	Point	1032	1036	1067,952

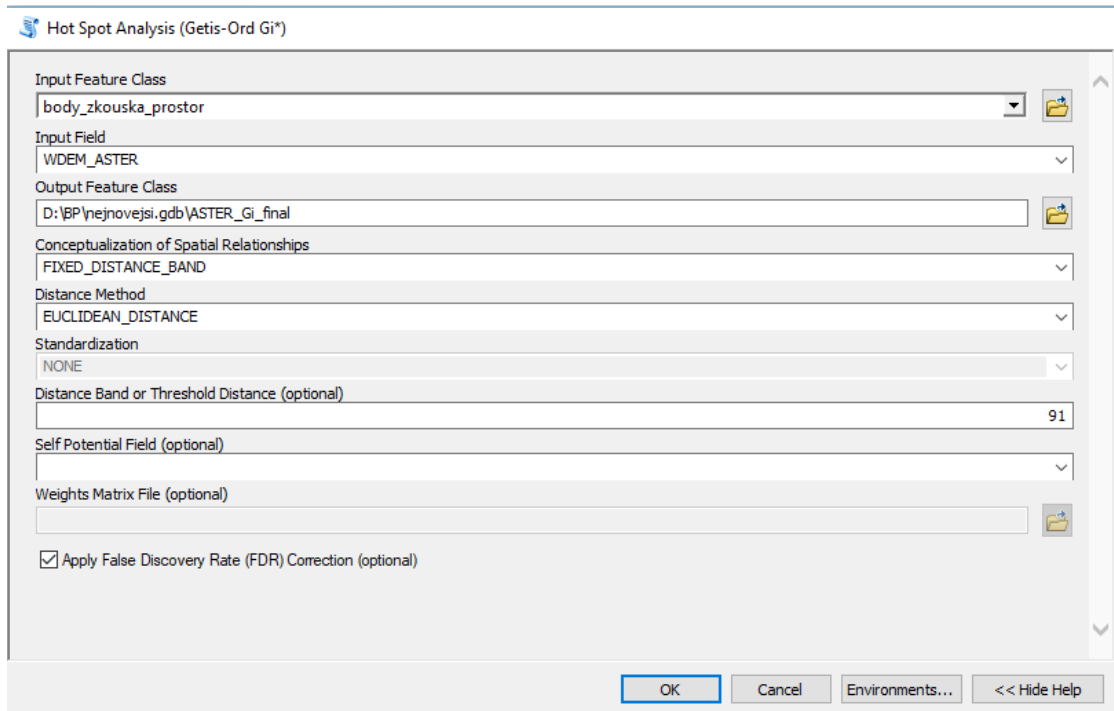
Před samotnými analýzami muselo být zjištěno, zdali získaná bodová data vykazují shlukování. Hypotéza tendence ke shlukování byla ověřena nástrojem *Spatial Autocorrelation (Morans I)*. Výsledek Moranova I byl jednoznačný a dokázal, že oba modely vykazují shlukování. Nyní mohly být provedeny prostorové metody pro hodnocení kvality DMR.

První byla vytvořena analýza Getis-Ord. Ta slouží k lokalizaci a identifikaci shluků v prostoru. Ještě před spuštěním analýzy byl použit nástroj *Incremental Spatial Autocorrelation*. Výsledkem tohoto nástroje je graf, který odhaluje prahové hodnoty vzdáleností od centra prvků, kde je shlukování nejvýraznější. Prahové hodnoty v grafu se nazývají vrcholy (peaks). Analýza dále poskytne z-score, které určuje intenzitu shlukování a p-value. Pokud analýza nepřinese žádné vrcholy, lze určit, že data nevykazují významné shlukování odlišné od jiných vzdáleností. Při testování modelů bylo nalezeno, že oba modely vykazují v určité vzdálenosti významnější shlukování.



Obrázek 9: Graf s hodnotami z-score pro každou vzdálenost

Výsledná vzdálenost z analýzy *Incremental Spatial Autocorrelation* poté byla použita v nástroji *Hot Spot Analysis (Getis-Ord  $G_i^*$ )*. Hodnota vzdálenosti byla zadána do *Distance Band or Threshold Distance*.



Obrázek 10: Nastavení nástroje *Hot Spot Analysis (Getis-Ord  $G_i^*$ )*

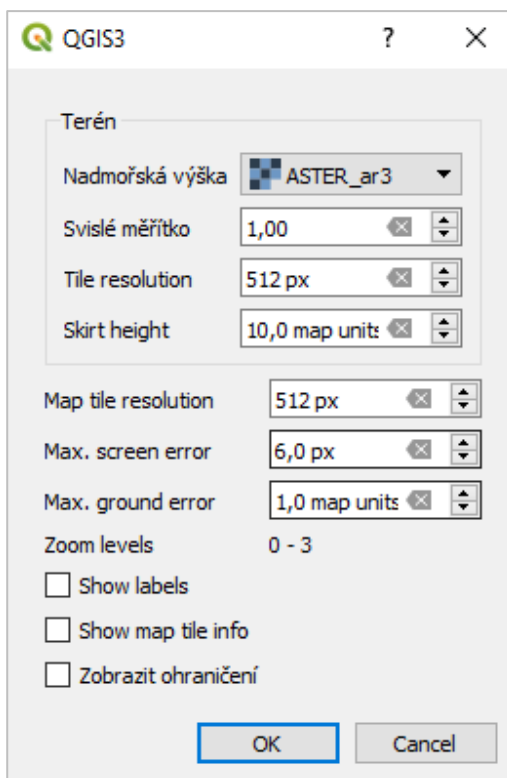
## 4.4 Vizualizace dat

V další části práce bylo nutné kromě statistických analýz datové sady porovnat také vizuálně. V první fázi vizuálního porovnávání byl vybrán čtverec o šířce strany 10 kilometrů. Velikost porovnávané oblasti byla zohledněna následným vytvořením fyzického

3D modelu, který je součástí vizuálního porovnání jednotlivých datových sad. Oblast pro posouzení kvality a vizuálního porovnání byla vybírána celkově z 4 oblastí. Kritérium pro výběr bylo takové, aby se v oblasti vyskytovalo alespoň jedno stanoviště nálezových dat a průběh terénu reliéfu se co nejvíce lišil. Prvně byly vybrány oblasti kolem hory Seytan Dagi, kvůli vysoké vertikální členitosti terénu. Nicméně, ve vybrané oblasti se nenacházely žádné stanoviště nálezových dat. Proto byla vybrána oblast poblíž vesnice Suçatı Mahallesi. V této oblasti se nachází hodně lesnatých částí a méně skalnatých hor. Nicméně, vertikální členitost terénu je pro hledanou oblast postačující.

V ArcGIS Desktop byly vytvořena nová polygonová vrstva, pro zakreslení čtverce do vybrané oblasti. Díky nově vytvořené polygonové vrstvě byly jednotlivé DMR ořezány. Pomocí nástroje *Extract by mask* byla data DMR ořezána do velikosti polygonové vrstvy. Po ořezání dat DMR byl pro každý dataset vytvořen stínovaný reliéf pomocí nástroje *Hillshade*. Dále byla výškopisná data vizualizována pomocí metody barevné hypsometrie. Výsledky jsou interpretovány v kapitole 5.

Dalším krokem pro vizuální porovnání bylo vytvoření zobrazení 3D modelu pomocí prohlížečky 3D dat. Pro vytvoření zobrazení 3D modelu byl využit program QGIS 3.0, který obsahuje integrovanou prohlížečku 3D modelů. Do pracovního prostředí programu QGIS 3.0 jsou obvyklým způsobem vložena rastrová výšková data, která jsou nástrojem *New 3D Map View* zobrazena do podoby 3D modelu. Nástroj byl optimálně nastaven do podoby, která je zobrazena na obrázku 11. Především je tohle nastavení nastaveno na spojitě zobrazení terénu bez děr, které vznikaly vykreslováním.



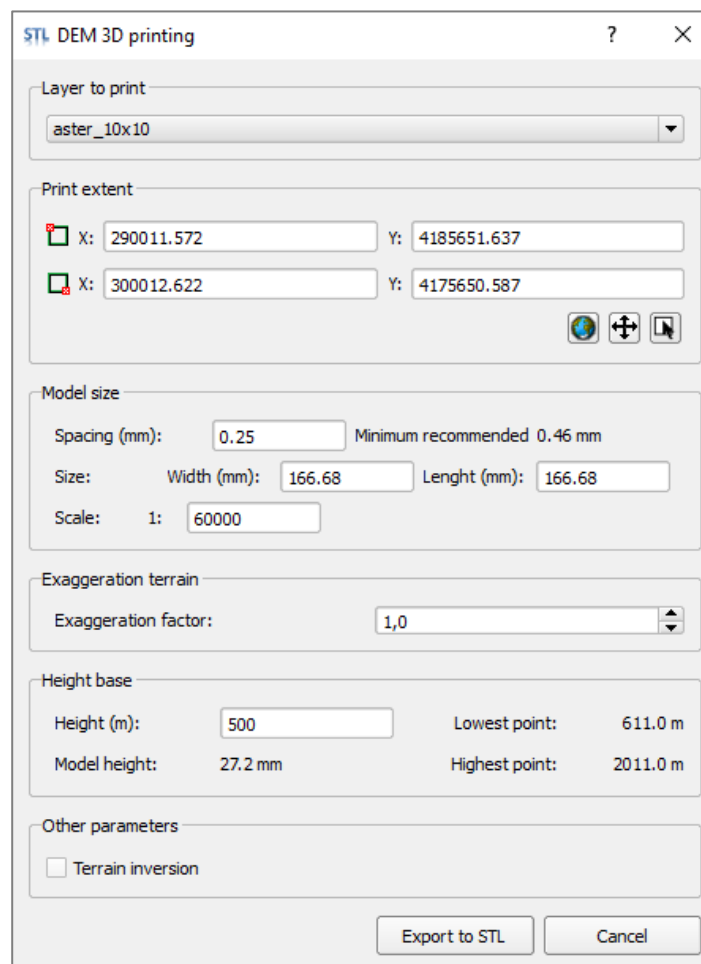
Obrázek 11: Nastavení nástroje *New 3D Map View*

K nejlepší představivosti průběhu terénu byl ale vytvořen fyzický 3D model. DMR však bylo nutné před samotným 3D tiskem připravit. Příprava dat DMR proběhla v programu QGIS 2.18. K následujícímu procesu byl použit nástroj *DEMto3D*. Ten lze nainstalovat



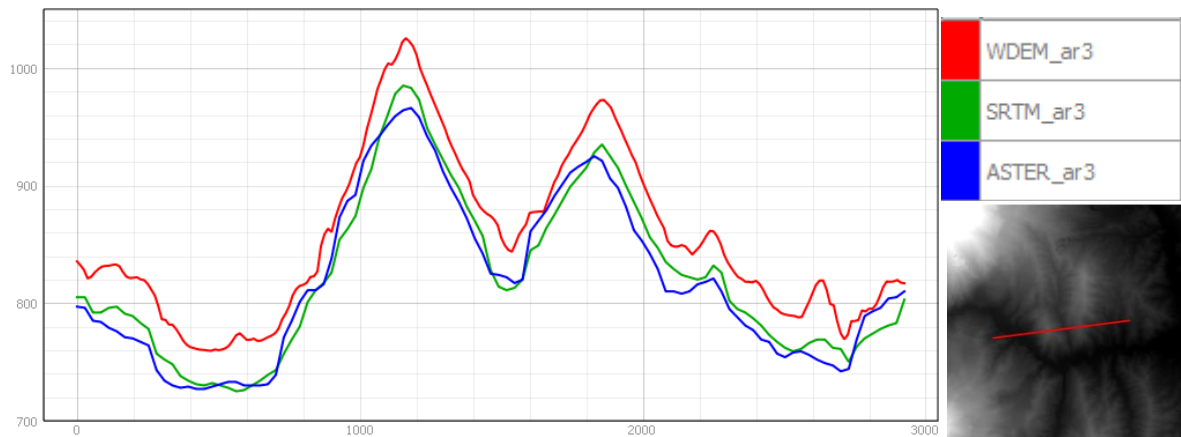
v zásuvných modulech pro QGIS. Pro vytvoření fyzického 3D modelu je vybrána právě ta část území, která je porovnávána i v předchozích krocích. Jedná se o území 10x10 kilometrů ve zvoleném rozlišení 1 : 60 000. Ve výsledku je model zhruba 166 x 166 milimetrů velký. Jako podstava byla určena výška 500 metrů, tudíž je model zhruba 27 milimetrů vysoký.

Účelem nástroje je převedení z rastrového formátu GeoTIFF do formátu STL. Právě STL je nejčastěji využívaným formátem pro 3D tisk.



Obrázek 12: Nastavení nástroje *DEMto3D*

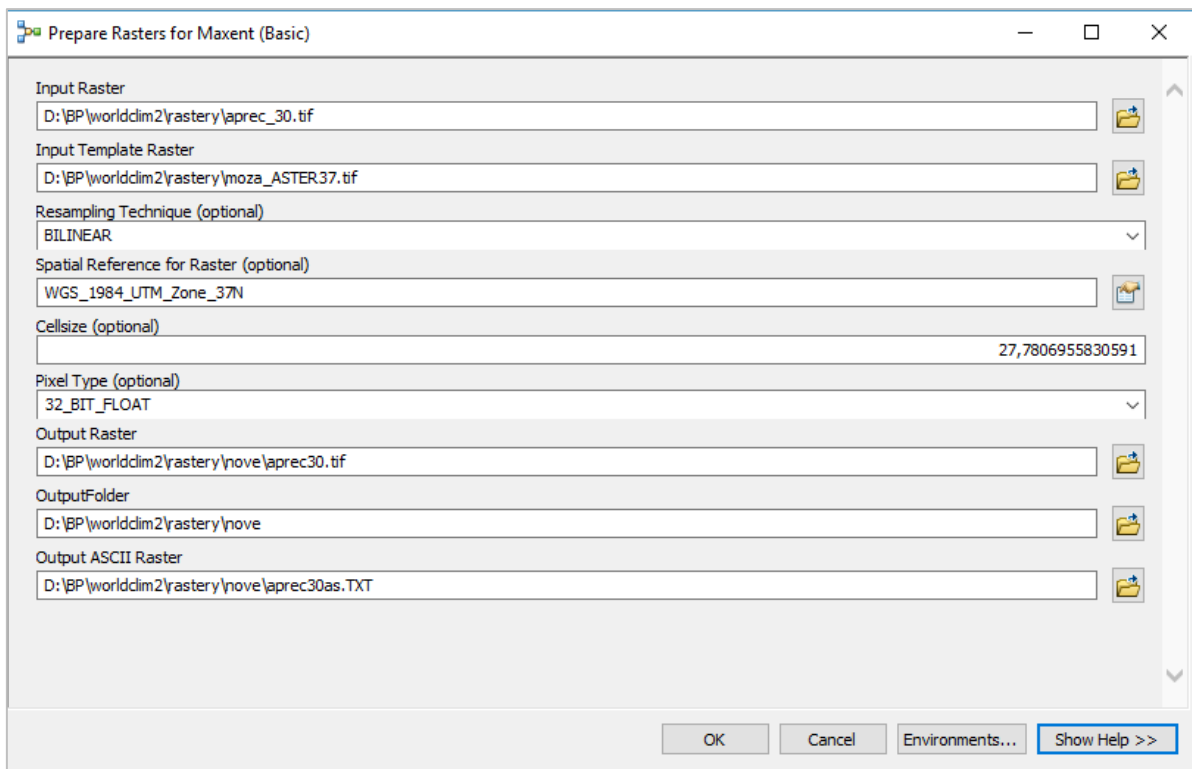
Po barevné hypsometrii a 3D modelu byl na vybrané oblasti vytvořen profil terénu. Ten byl opět vytvářen v programu QGIS, avšak musela být použita starší verze, a to 2.18. Nástroj *Profile Tool*, který lze stáhnout v zásuvných modulech, totiž není kompatibilní s novou verzí 3.0. Do nástroje byly nahrány datové sady DMR a zvolena trajektorie, pod kterou se bude profil terénu počítat.



Obrázek 13: Srovnání profilu terénu mezi DMR

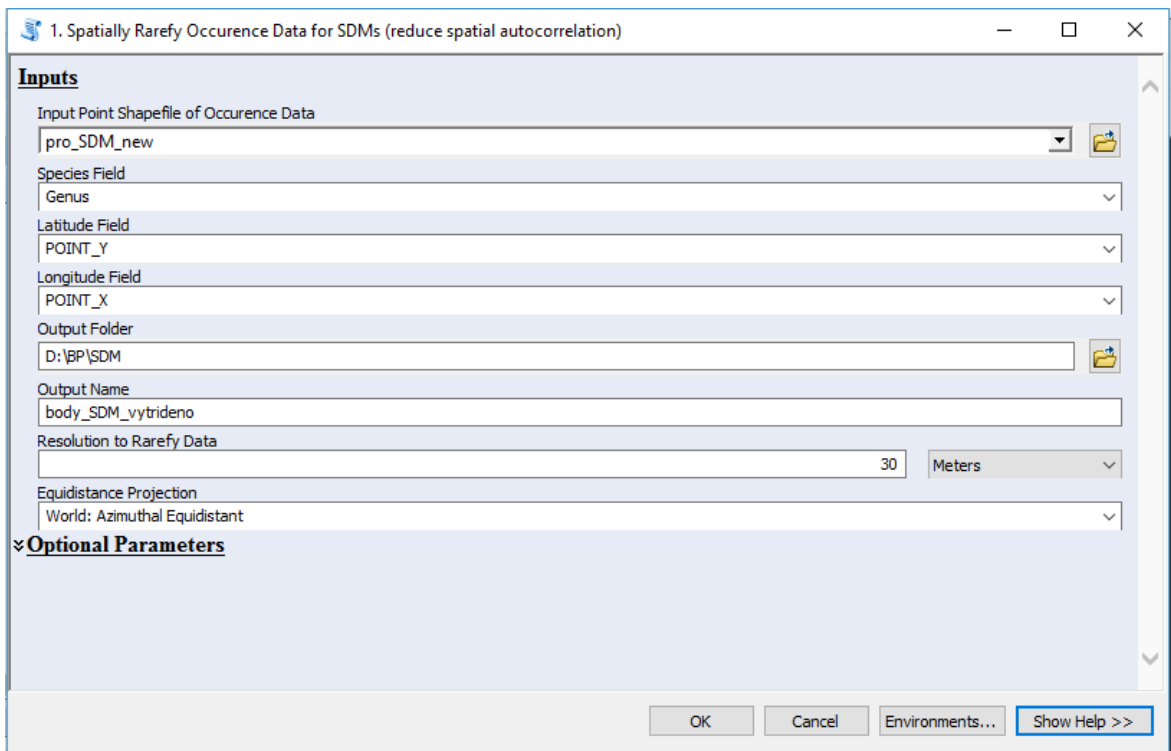
## 4.5 Příprava dat pro SDM

Pro modelování prostorové distribuce druhů bylo nejdříve nutné stáhnout environmentální vrstvy. Jako environmentální vrstvy byly použity vybrané proměnné z databáze WorldClim verze 2.0, která jsou volně dostupná ke stažení. Data jsou dostupná pro celý svět ve více rozlišeních. Jedná se o rozlišení 10 úhlových minut, 5 úhlových minut, 75 úhlových vteřin a 30 úhlových vteřin. Pro účel bakalářské práce byla vybrána data s rozlišením 30 úhlových vteřin, což odpovídá zhruba 930 metrů. Oproti datům DMR, která jsou dostupná ve výrazně lepším rozlišení, bylo nutné environmentální data převzorkovat na stejné rozlišení. A jelikož i data DMR jsou dostupná ve dvou rozlišení (rozlišení WorldDEM je zhruba 12 metrů a rozlišení ASTER GDEM v2 se SRTM1 v3 jsou v rozlišení zhruba 30 metrů), převzorkování bylo nutné provést dvakrát. Celková velikost komprimovaných environmentálních dat byla přes 5 GB. Hned po stažení byla data extrahována. Dále již byla data upravována v programu ArcGIS Desktop, kde byla pomocí nástroje *Extract by mask* ořezána pouze na oblast, ve které jsou dostupná i data DMR. Environmentální vrstvy byly převzorkovány nejprve na 12 metrů a poté na 30 metrů, dle velikosti ostatních dostupných dat DMR. Pro tenhle krok byl použit nástroj *Resample* pro převzorkování a poté nástroj *Project Raster* pro transformaci souřadnicového systému. Pro přípravu dat pro modelování prostorové distribuce druhů bylo nutné stáhnout nástroj, který data nachystá pro použití v programu Maxent. Nástroj *Prepare Rasters for Maxent* lze stáhnout z oficiálních stránek ArcGIS. Repozitář nástroje byl přesunut na GitHub, kde se budou objevovat nové verze nástroje: <https://github.com/jeffrejevans/GradientMetrics>. Nástroj upravuje rastrové vrstvy tak, aby měly stejnou velikost buňky (převzorkováním), začínaly na stejných souřadnicích a měly stejný souřadnicový systém. Hlavním výstupem je ASCII soubor, který je vstupem do modelování prostorové distribuce bobovitých rostlin. Samotná prostorová distribuce probíhala v softwaru Maxent verze 3.4.1 (kapitola 4.6 Modelování prostorové distribuce druhů).

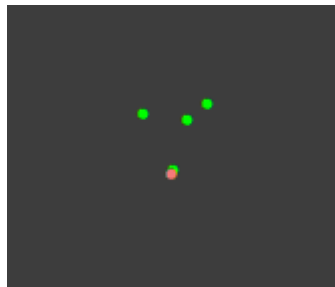


Obrázek 14: Nastavení nástroje *Prepare Rasters for Maxent*

Nálezová data jsou zaznamenávána od roku 2013 do roku 2017. Často tak bylo na jednom stanovišti uveden výskyt v několika letech. Jednalo se o duplicitu bodových dat. Tato situace mohla negativně ovlivňovat potenciální predikci výskytu bobovitých rostlin. Navíc některá naleziště jsou od sebe vzdálena pouze pět metrů. Proto bylo nutné naleziště bylo nutné naleziště zkontrolovat a upravit pro potřeby modelování. Tenhle krok byl vyřešen nástrojem *Spatially Rarefy Occurrence Data for SDMs (reduce spatial autocorrelation)*. Nástroj je dostupný v toolboxu SDMtoolbox verze 2.2, který je dostupný na adrese: <http://sdmtoolbox.org/>. Vzdálenost jednoho naleziště od druhého byla určena po konzultaci s vedoucím práce na 30 metrů. Zvolená vzdálenost byla vybrána záměrně, kvůli rozlišení modelu ASTER GDEM v2 a SRTM1 v3, které je zhruba 30 metrů. Tím bylo docíleno, že na každém pixelu nebude více nalezišť než jedno. Jednotlivým pixelům s více nalezišti by se poté dávala velká váha při modelování prostorové distribuce druhů.



Obrázek 15: Nastavení nástroje *Spatially Rarefy Occurrence Data for SDMs* pro eliminaci nežádoucích nalezišť



Obrázek 16: Nevytřídněná naleziště (zelená) a naleziště po použití nástroje *Spatially Rarefy Occurrence Data for SDMs* (červená)

Po odstranění nežádoucích byl celkový počet nalezišť zredukován z 1460 bodů na 262 bodů. Struktura nálezových dat, vstupujících do algoritmu musí být striktně dodržena podle propozic manuálu programu. Nálezová data vstupovala jako CSV (Comma separated values) soubor. Struktura nálezových dat tak musela být ve formátu: species, longitude, latitude. Protože je potřeba u dat mít i souřadnice, byly do atributové tabulky přidány pomocí nástroje *Add XY Coordinates*. Po vložení ještě bylo nutné data převést z formátu shapefile do formátu CSV. Atributová tabulka nálezových dat byla vyexportována do textového souboru, který byl v programu Microsoft Excel 365 dále upravován. U dat bylo nutné smazat přebytečná pole v atributové tabulce a ponechat pouze požadovanou strukturu. Posledním krokem bylo uložení do požadovaného formátu CSV. Poslední úpravou byla změna oddělovače ze středníku na čárku, jinak by data nebyla v požadované struktuře pro modelování prostorové distribuce.

Tabulka 3: Struktura nálezových dat vstupujících do modelování prostorové distribuce rostlin

Species	Longitude	latitude
bobovite_r	629326.5495	4406771.481
bobovite_r	629993.9926	4406368.1
bobovite_r	614062.176	4404542.591
bobovite_r	617289.1707	4310081.613
bobovite_r	569053.8068	4268774

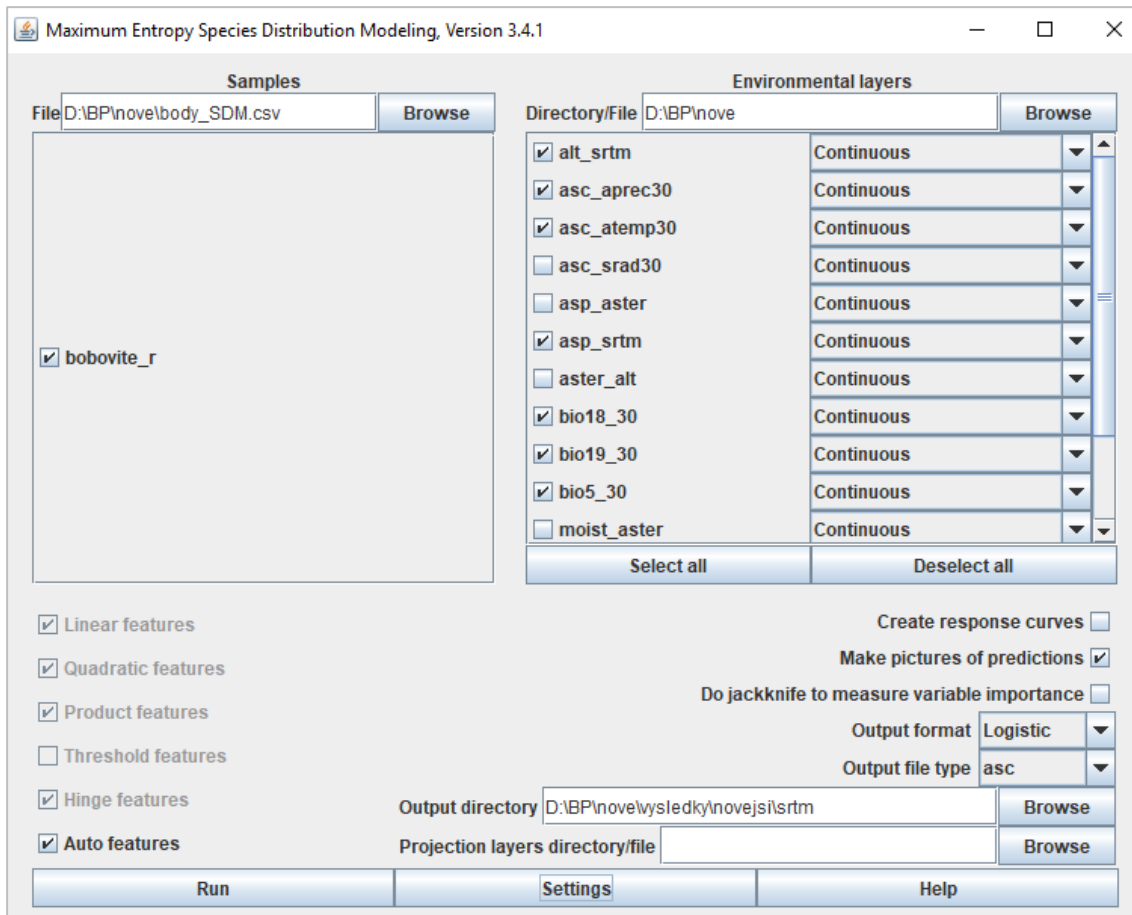
## 4.6 Modelování prostorové distribuce druhů

Po převedení všech nachystaných rastrů do formátu ASCII bylo možné spustit algoritmus pro modelování prostorové distribuce bobovitých rostlin. Z environmentálních vrstev WorldClim verze 2.0 bylo vybráno celkem pět rastrů:

- Mean Annual Temperature (T),
- Maximum Temperature of the Warmest Month (TM warm),
- Total Annual Precipitation (P),
- Precipitation of the Warmest Quarter (PQ warm),
- Precipitation of the Coldest Quarter (PQ cold).

Rastry byly vybrány na základě studie (Hageer a kol., 2017). Dle studie mají zmíněné rastry z databáze WorldClim mají korelaci menší než 0,85 a tudíž jsou vhodné k použití. K vybraným rastrům byly z každého DMR přidány ještě rastry pro sklon, orientaci, nadmořskou výšku a index vlhkosti. Velikost všech použitých rastrů byla 100 GB. Jako nálezová data byla použita výše zmíněná bodová data. Testování proběhlo nejprve pro samostatná klimatická data z WorldClim. Poté proběhlo testování, kde byly ke klimatickým rastrům přidány rastry vytvořené vlastní analýzou DMR. Celkově byly provedeny čtyři modelace prostorové distribuce bobovitých rostlin. Pro nástroj Maxent bylo použito defaultní nastavení. U vstupních environmentálních rastrů bylo nastaveno, že se jedná o kontinuální rastry a výstupní soubor byl zvolen jako ASCII (Obrázek 17).

Po dokončení modelování prostorové distribuce druhů bylo nutné ASCII soubory opět převést zpět do rastrového formátu. To bylo docíleno nástrojem *ASCII to raster*. Hodnoty výsledné vrstvy se pohybují v rozmezí od 0 do 1. Čím více se hodnota blíží k 1, tím více roste pravděpodobnost výskytu. Naopak zda se hodnota blíží nule, pravděpodobnost výskytu klesá. Rastrové vrstvy byly vizualizovány do mapových výstupů. Pro statistické hodnocení rastrů byl použit nástroj *Band Collection Statistics*. Výsledkem je statisticky ohodnocená každá rastrová vrstva, ale je spočítána také korelační matice. Míru korelace vyjadřuje korelační koeficient, který nabývá hodnot od -1 až 1. Pokud se hodnota přibližuje 1 jedná se o přímou závislost, pokud se však přibližuje -1 jedná se o nepřímou závislost. Pokud by výsledná hodnota byla nula, pak mezi rastry není žádná statisticky zjiřitelná lineární závislost.



Obrázek 17: Nastavení programu Maxent verze 3.4.1 se vstupujícími daty

## 5 VÝSLEDKY PRÁCE

Následující kapitola detailněji popisuje výsledky, kterých bylo během řešení bakalářské práce dosaženo. Obsahuje výsledky neprostorových a prostorových metod hodnocení kvality DMR, predikci prostorové distribuce bobovitých rostlin s použitím topografických atributů DMR a nakonec analýzu stanovištních podmínek.

### 5.1 Hodnocení kvality DMR

Digitální modely reliéfu byly hodnoceny pomocí dvou metod. Pomocí neprostorových a prostorových. Jako neprostorové metody byly vybrány RMSE a AE. Mezi prostorové metody byly vybrány analýzy LISA a Getis Ord.

#### 5.1.1 Neprostorové metody

Zvolené neprostorové metody jsou i globálními metodami hodnocení kvality DMR. Udávají globální odchylku porovnávaných a referenčních dat. Určují tak celkovou kvalitu hodnocených DMR. Nelze však u těchto metod zjistit lokální extrémy.

Při porovnávání vybraných DMR byl jako referenční model použit WorldDEM. Vertikální přesnost se pohybuje do 4 metrů a horizontální do 6 metrů. To je nejlepší přesnost dostupná pro globální DMR, proto byl WorldDEM vybrán jako referenční. Porovnávanými digitálními modely reliéfu byly ASTER GDEM v2 a SRTM1 v3.

DMR byly srovnány v rámci jednotlivých stanovišť nálezočných dat. Celkově se tak vycházelo ze srovnání 1460 hodnot. Jako přesnější a lepší model se v této analýze jevil SRTM1 v3, jelikož měl celkově menší odchylku. Střední kvadratická chyba SRTM1 v3 byla zhruba 5,05 metrů, kdežto ASTER GDEM v2 měl 5,7 metrů. Výsledek u absolutní chyby nebyl rozdílný, a i zde byl lepší SRTM1 v3. Absolutní chyba SRTM1 v3 byla 37,09 metrů. Pro ASTER GDEM v2 to bylo 43,69 metrů.

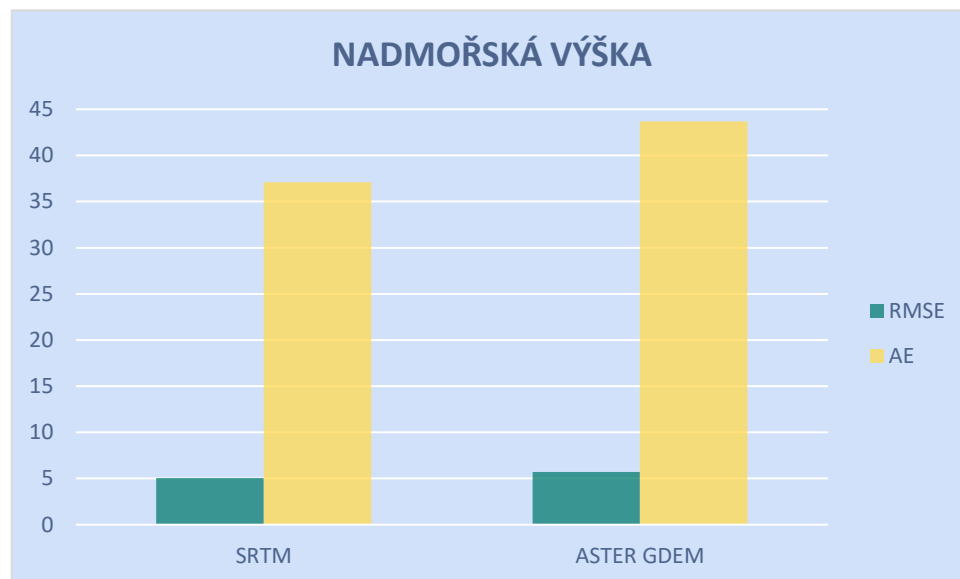
Lze tak usoudit, že SRTM1 v3 je oproti ASTER GDEM v2 lepší, pokud se jedná o nadmořskou výšku. Výsledky lze porovnat v tabulce (Tabulka 4) nebo v grafu (Graf 2).

Tabulka 4: Srovnání DMR při hodnocení kvality nadmořské výšky neprostorovými metodami

NADMOŘSKÁ VÝŠKA			
referenční data	porovnávaná data	RMSE	AE
WorldDEM	SRTM1 v3	5,0569	37,0916
WorldDEM	ASTER GDEM v2	5,7094	43,6954

Střední kvadratická chyba a absolutní chyba byla počítána nejenom u nadmořské výšky, ale i u sklonu. Sklon reliéfu je primárním atributem, který vstupuje do prostorové distribuce druhů. Bylo nutné tedy provést neprostorovou analýzu i pro sklon reliéfu, jelikož i sklon hraje důležitou roli při modelování prostorové distribuce druhů.

Výsledky neprostorových analýz byly při hodnocení sklonu vyrovnanější, než tomu bylo u nadmořské výšky. Střední kvadratická chyba byla nepatrně menší u ASTER GDEM v2 než u produktu SRTM1 v3, a to zhruba o 0,3 °. U absolutní chyby tomu ale bylo naopak a zde byl SRTM1 v3 lepší o zhruba 1,1 °. Výsledek je dostupný v tabulce (Tabulka 5) a v grafu (Graf 3).



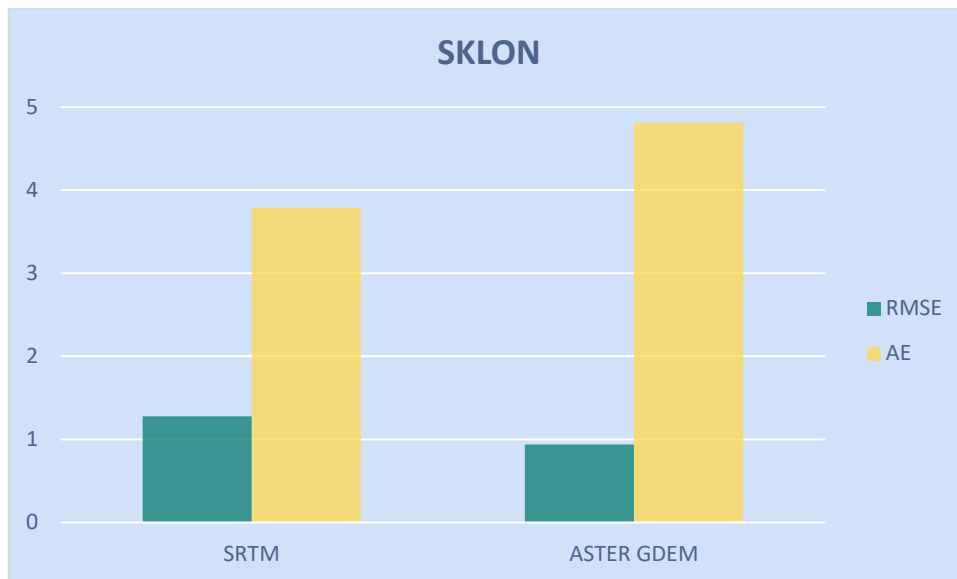
Graf 1: Srovnání DMR při hodnocení kvality nadmořské výšky neprostorovými metodami

Tabulka 5: Srovnání DMR při hodnocení kvality sklonu neprostorovými metodami

SKLON			
referenční data	porovnávaná data	RMSE	AE
WorldDEM	SRTM1 v3	1,2781	3,7901
WorldDEM	ASTER GDEM v2	0,9380	4,8123

Pokud by byly DMR porovnávány dle váženého pořadí, byly by na tom velmi podobně. Co se týče sklonu, zde by byly výsledky vyrovnané, jelikož ASTER GDEM v2 měl menší střední kvadratickou chybu, kdežto SRTM1 v3 zase menší absolutní chybu. Digitální modely reliéfu jsou v porovnání sklonu srovnatelné. Při porovnávání nadmořské výšky je přesnějším modelem SRTM1 v3, protože jeho RMSE a AE byla menší. Jedná se však pouze o hodnocení pomocí neprostorových metod, které se zaměřují globálně na celá data. Nutno podotknout, že se jedná o srovnání s daty WorldDEM, tudíž by měl být SRTM1 v3 lepší než ASTER GDEM v2, při porovnání s referenčním modelem.





Graf 2: Srovnání DMR při hodnocení kvality sklonu neprostorovými metodami.

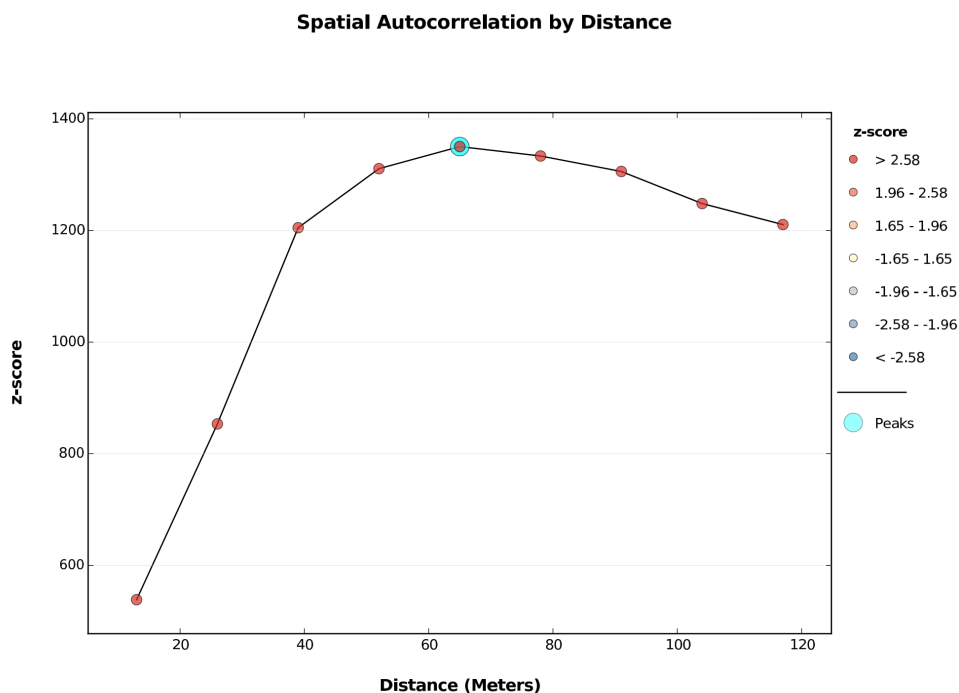
Mezi neprostorové metody se řadí také Moranovo I, která určuje, zdali hodnoty vykazují shlukování, rozptyl nebo náhodné rozdělení. Pokud by výsledek analýzy Moranovo I nevyjadřoval shlukování, nebylo by nutné počítat shlukové analýzy.

Výsledek Moranova I jednoznačně prokázal, že má smysl počítat další shlukové analýzy. Hodnota Z-score pro model ASTER GDEM v2 dosahovala 1196, pro model SRTM1 v3 to bylo jen nepatrně menší a to 1161. Existuje tedy šance menší než jedno procento, že shluky jsou výsledkem náhodného rozdělení.

### 5.1.2 Prostorové metody

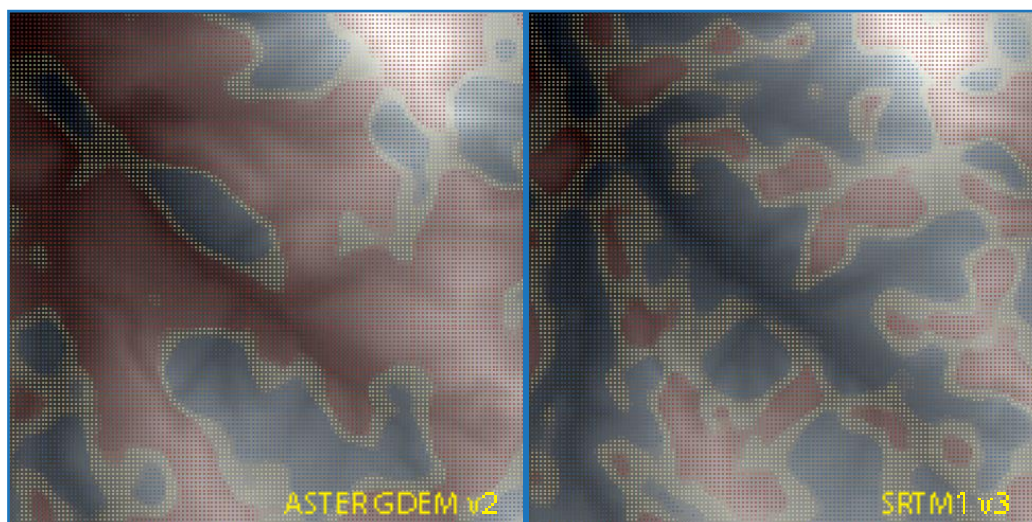
Dalším způsobem hodnocení kvality DMR byly prostorové metody hodnocení. Byly vybrány metody LISA a Getis Ord. První zmiňovaná metoda má za cíl určit shluky s podobnými hodnotami nebo shluky s rozdílnými hodnotami. LISA ale nevyjadřuje absolutní hodnoty chyb, které rozlišuje Getis – Ord.

Předtím, než mohly být metody vypočítány, musela být zjištěna prahová hodnota, kde jsou shluky nejvýraznější oproti jiným vzdálenostem. Pro tuhle analýzu byl použit nástroj *Incremental Spatial Autocorrelation*. Ten vy výsledku určí graf, kde lze poznat vrcholy, tedy hodnoty vzdáleností, kde je shlukování nejvýraznější. Prahová hodnota vzdálenosti shlukování se nachází u SRTM1 v3 na 65 metrech. Hodnota z-score je v tomhle místě 1350. U modelu ASTER GDEM v2 je prahová hodnota na 91 metrech a z-score je 1659.



Obrázek 18: Prostorová autokorelace u SRTM1 v3 podle vzdálenosti.

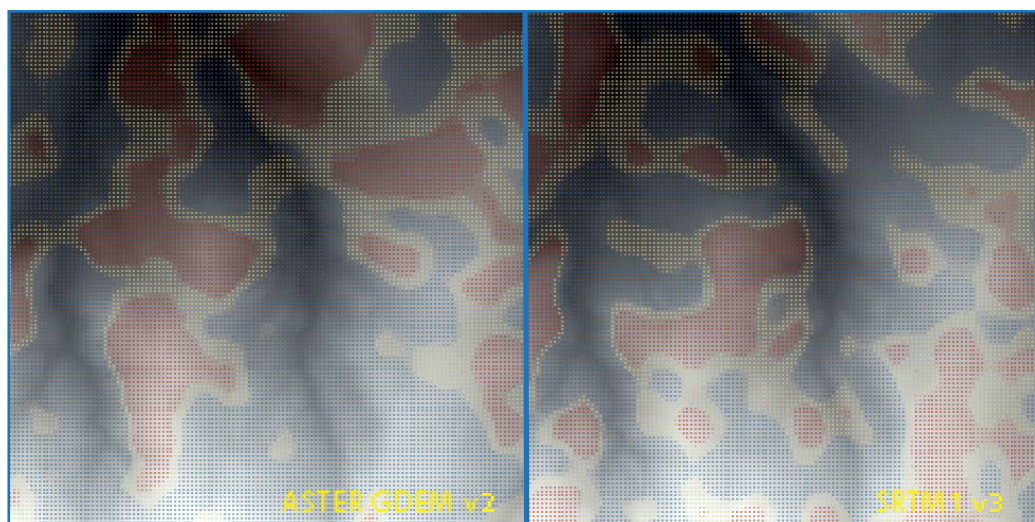
Po určení prahových vzdáleností byly vypočteny prostorové metody hodnocení kvality DMR. Bylo zjištěno, že porovnávané DMR se neliší na konkrétních místech, ale rozmístění cold spots a hot spots je zcela náhodné. Je to způsobeno lepším rozlišením modelu WorldDEM, který dokáže průběh reliéfu zachytit lépe. Kdežto horší rozlišení u modelu ASTER GDEM v2 a SRTM1 v3 způsobí shlazení reliéfu, kde nejdou poznat menší změny reliéfu.



Obrázek 19: Oblast č.1 pro porovnání analýzy Getis Ord Gi\*

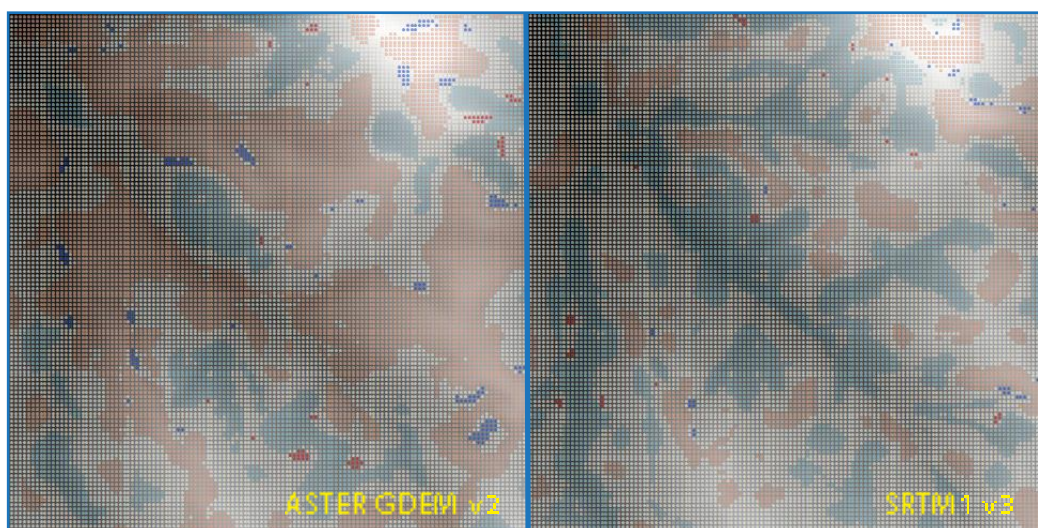
Porovnání výsledků prostorové analýzy Getis Ord Gi proběhlo srovnávacím územím o zhruba 174 000 bodech. Z území byly vybrány dvě oblasti, které byly vizualizovány. V oblastech slouží jako podklad digitální model reliéfu WorldDEM, který je referenční pro další dva zmiňované. Shluky nízkých hodnot jsou vyobrazeny modrou barvou, lokace bez významného shlukování žlutou a shluky vysokých hodnot červenou. V oblasti č.1 (Obrázek 19) lze rozeznat rozdíl mezi porovnávanými DMR. U SRTM1 v3 se shluky nízkých

hodnot (cold spots) nacházejí spíše v údolích a na hřebenech spíše shluky vysokých hodnot (hot spots). Nejedná se ale o pravidlo, takže i na hřebenech lze zpozorovat shluky nízkých hodnot. U modelu ASTER GDEM v2 je rozmístění shluků nepravidelné. V další vizualizované oblasti (Obrázek 20) je u obou modelů rozmístění cold spots a hot spots nepravidelné a nelze ho specifikovat podle tvaru reliéfu. Na obrázcích lze taky poznat, že lokace bez významného shlukování se objevuje jen zřídka a většinou se jedná o shluky nízkých nebo vysokých hodnot.

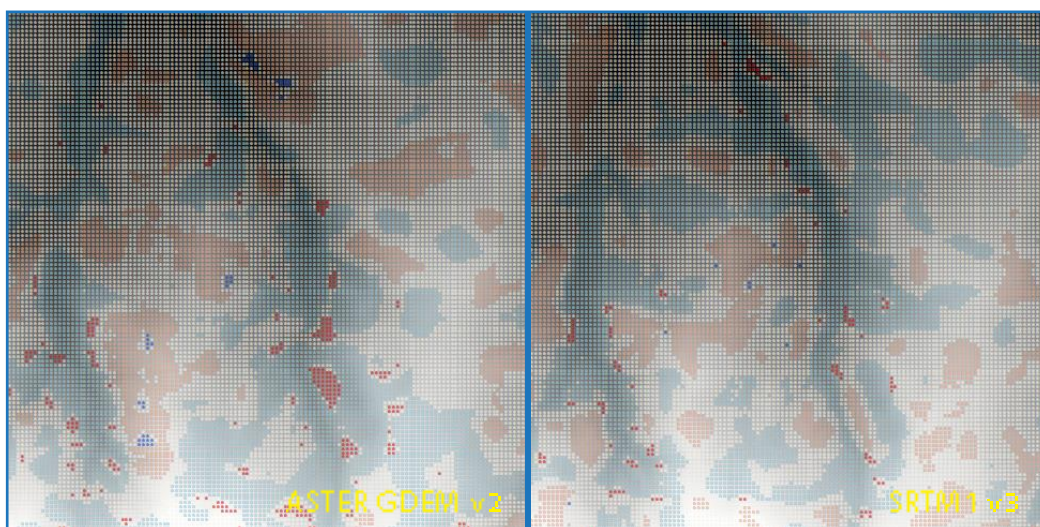


Obrázek 20: Oblast č.2 pro porovnání analýzy Getis Ord Gi\*

Druhou metodou prostorového hodnocení byla analýza LISA. V oblasti č.1 (Obrázek 21), opět rozeznat rozdíl mezi porovnávanými modely. Plošný rozsah shluků vysokých a nízkých hodnot je menší u modelu SRTM1 v3, kde je i menší počet outlierů. Shluky nízkých hodnot jsou spíše v údolích a vysokých hodnot spíše na hřebenech, což u ASTER GDEM v2 neplatí. Při srovnání oblasti č.2 (Obrázek 22) jsou oba modely srovnatelné. Plošný rozsah shluků s vysokými a nízkými hodnotami je téměř stejný. U modelu ASTER GDEM v2 se ale opět vyskytuje více outlierů. Při vizuálním srovnání obou prostorových metod hodnocení kvality DMR lze říci, že model SRTM1 v3 je o něco více kvalitní než model ASTER GDEM v2.



Obrázek 21: Oblast č.1 pro porovnání analýzy LISA



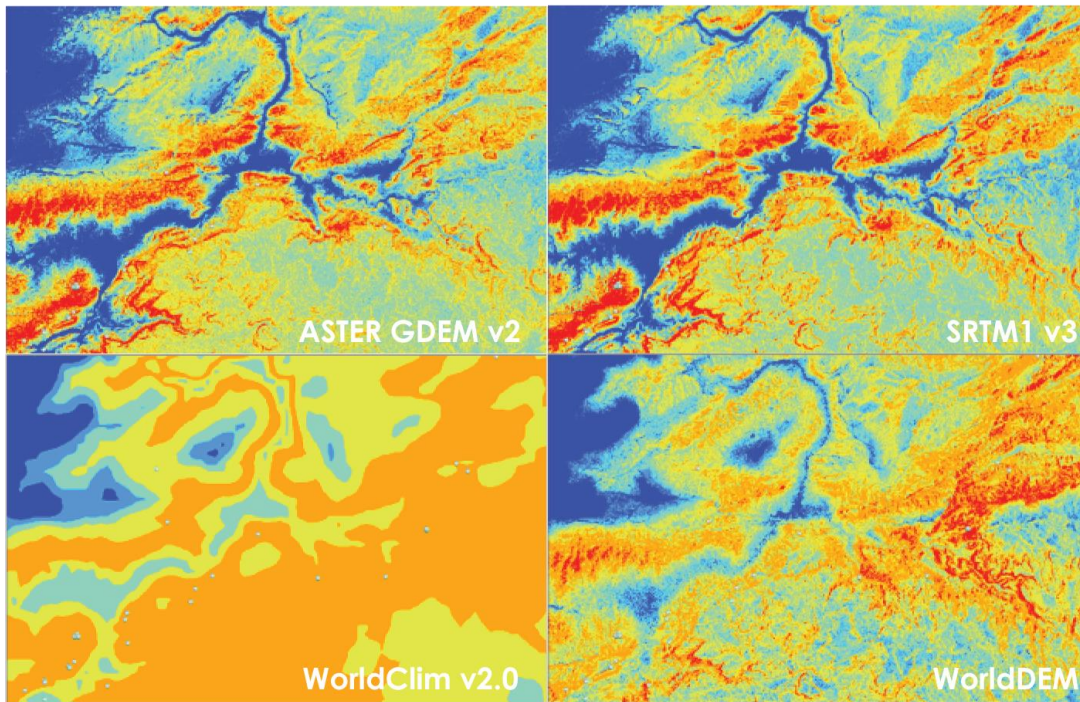
Obrázek 22: Oblast č.2 pro porovnání analýzy LISA

## 5.2 Modelování prostorové distribuce

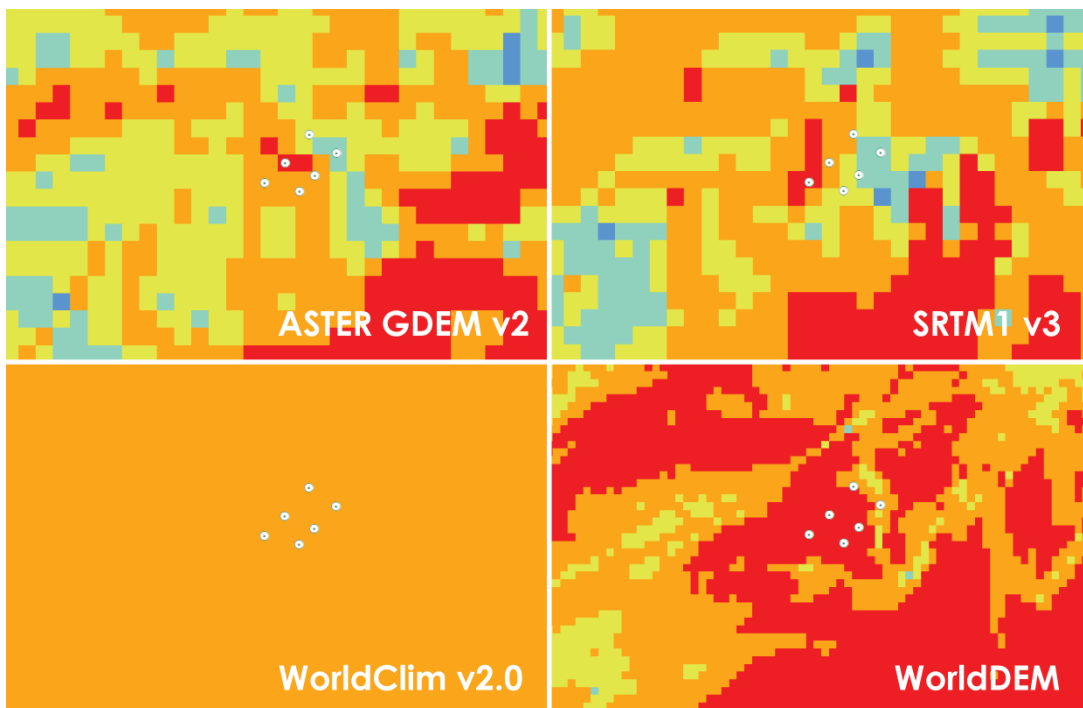
Modelování prostorové distribuce proběhlo v program Maxent verze 3.4.1. Výstupem této aplikace byl ASCII soubor, který byl opět převeden na rastr. Pro modelování bylo potřeba celkově 22 rastrů. Výstupní ASCII soubory byly čtyři. První predikce obsahovala pouze vstupní data z databáze WorldClim, další výstupy už obsahovaly i zmiňované topografické atributy. Predikce, která obsahovala pouze data WorldClim v2.0 se značně lišila od ostatních třech predikcí. Bylo to zapříčiněno přidáním topografickými atributy.

Odlišnost mezi výsledky modelování prostorové distribuce bobovitých rostlin byla patrná již na první pohled. Při modelování, kde byla použita pouze data WorldClim v2.0 byla nejvyšší hodnota predikce pouze 0,67. Hodnoty predikce se pohybují od nuly do jedné, přičemž čím víc se hodnota blíží jedné, tím jsou lepší podmínky pro výskyt rostlin. Při srovnání dalších modelování byly nejvyšší výsledky hodnot predikce nad 0,9. Pokud budou porovnávány výsledné mapy, nejmenší rozdíly jsou mezi modelováním s daty ASTER GDEM v2 a SRTM1 v3. Nejvíce odlišnou mapou je ta, kde jsou vstupní data pouze data WorldClim v2.0, protože obsahuje pouze bioklimatické rastry. Při zaměření na modely s použitými topografickými atributy se od zbylých dvou liší WorldDEM. Ten zajišťuje plynulejší přechod mezi hodnotami, které značí vhodnost a mezi hodnotami, které značí oblasti nevhodné pro výskyt rostlin (Obrázek 19).

Při větším zoomu na vybranou oblast lze rozlišit velké rozdíly mezi výslednými vrstvami. U výsledků s daty ASTER GDEM v2 a SRTM1 v3 se vyskytují v optimální části pro výskyt i místa, která mají malé hodnoty predikce (Obrázek 20). Výsledek s daty WorldDEM přechází plynuleji mezi vyššími a nižšími hodnotami predikce. Výsledné modelování pouze s daty WorldClim v2.0 potvrzuje, že není ovlivněno topografickými atributy. Všechny mapy s výslednou distribucí bobovitých rostlin se nacházejí v přílohách.



Obrázek 23: Srovnání predikce výskytu bobovitých rostlin



Obrázek 24: Zoom výsledných vrstev s nálezovými daty

Při použití dat WorldClim měla největší důležitost při predikci průměrná roční teplota, roční srážky a úhrn srážek nejteplejšího čtvrtletí. Pokud byla použita i data z digitálních modelů tak kromě průměrné teploty a ročních srážek ovlivňovaly predikci nejvíce ještě nadmořská výška a sklon. Hodnoty z modelu ASTER GDEM v2 a SRTM1 v3 byly téměř shodné, nicméně WorldDEM se lišil. Predikce pro modely ASTER GDEM v2 a SRTM1 v3 jsou podobné hlavně kvůli tomu, že vstupující vrstvy měly skoro stejnou váhu. Nejvíce predikci u těchto dvou modelů ovlivňovala průměrná roční teplota, nadmořská výška,

sklon svahu a roční úhrn srážek. Průměrná roční teplota ovlivňovala tyhle predikce skoro z poloviny. Predikce s daty WorldDEM se od zbylých dvou lišila hlavně proto, že ji nejvíce ovlivňoval roční úhrn srážek. Na druhém místě byla průměrná roční teplota, která ovlivňovala tuhle predikci z 29 %. Další změnou byla větší váha u sklonu svahu (18 %), než u nadmořské výšky (8,1 %).

Tabulka 6: Srovnání atributů při ovlivnění výpočtu algoritmu Maxent

vstupující vrstva	důležitost při predikci			
	ASTER GDEM v2	SRTM1 v3	WorldDEM	pouze WorldClim
průměrná roční teplota	50,5 %	48 %	29 %	56,3 %
roční úhrn srážek	10,3 %	10,9 %	37,9 %	31,7 %
nadmořská výška	23,2 %	25,2 %	8,1 %	-
sklon svahu	12,4 %	11,7 %	18 %	-
index vlhkosti	1,5 %	0,6 %	0,3 %	-
orientace svahu	0,6 %	2,6 %	1,9 %	-
maximální teplota nejteplejšího měsíce	0,2 %	1 %	1,2 %	0,8 %
úhrn srážek nejteplejšího čtvrtletí	1,3 %	0 %	1,1 %	0,1 %
úhrn srážek nejchladnějšího čtvrtletí	0 %	0 %	2,5 %	11 %

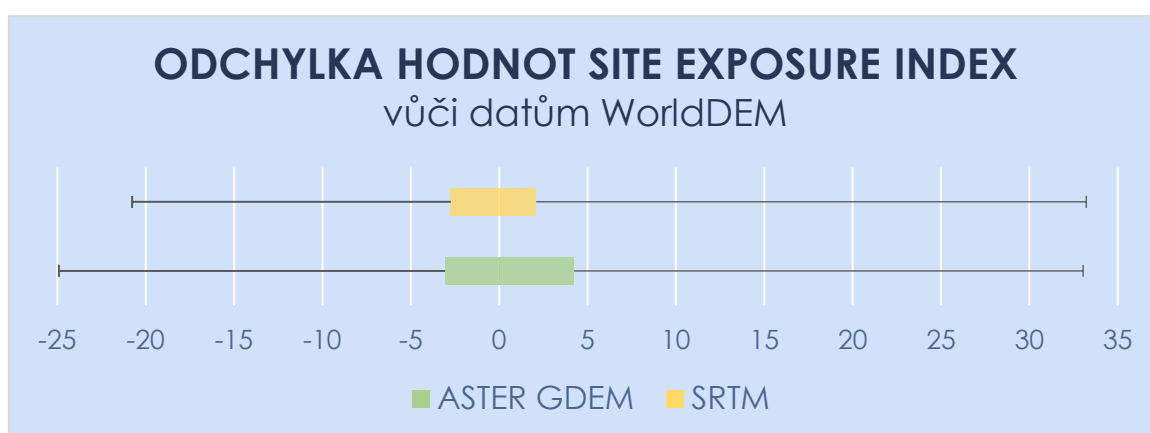
Pro všechny výsledné rastrové vrstvy byla vypočítána souhrnná statistika a korelační matice, aby bylo zjištěno, jak spolu navzájem koreluje. Výsledek poukazyval na to, že nejvíce podobné si jsou předpovědní modely s daty ASTER GDEM v2 a SRTM1 v3. Nejvíce odlišné poté jsou modely SRTM1 v3 a model pouze s daty WorldClim. Při porovnání s daty WorldDEM se těmhle datům nejvíce podobá model s daty SRTM1 v3.

Tabulka 7: Korelační matice výsledných dat

KORELAČNÍ MATICE VÝSLEDNÝCH DAT				
	WorldDEM	ASTER GDEM v2	SRTM1 v3	pouze WorldClim
WorldDEM	1,00000	0,82882	0,84843	0,81143
ASTER GDEM v2	0,82882	1,00000	0,93119	0,81408
SRTM1 v3	0,84843	0,93119	1,00000	0,80307
pouze WorldClim	0,81143	0,81408	0,80307	1,00000

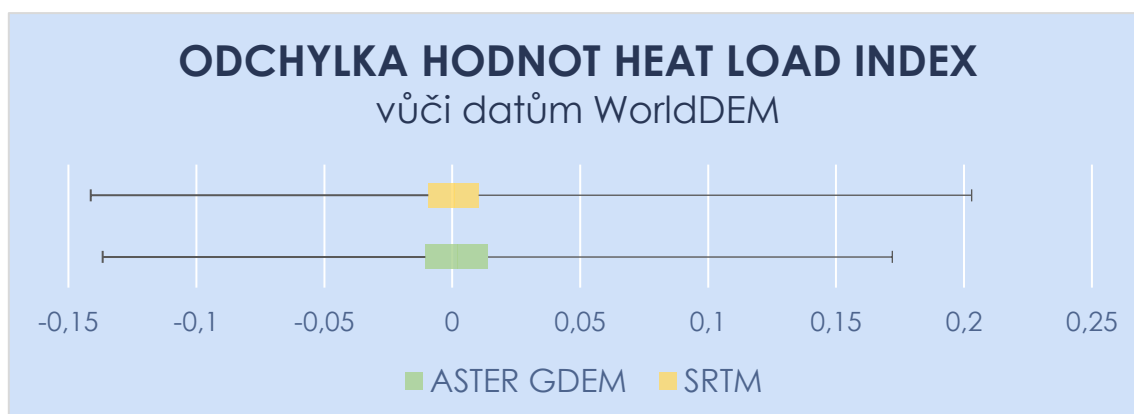
### 5.3 Analýza stanovištních podmínek

V místech nálezových dat byly extrahovány hodnoty z rastrů pro analýzu stanovištních podmínek. K vizualizaci a porovnání pomocí krabicových grafů byly vybrány dva indexy. Graf je nastaven tak, že vousy grafy sahají od minima po maximum. Outliery tedy nejsou značeny tečkami, ale nachází se mezi „krabicovou“ částí a koncem vousu. Vousy sahají až na minimální a maximální hodnotu. Prvním indexem byl zvolen site exposure index, jehož hodnoty se pohybují v rozmezí od -100 do 100. Graf zobrazuje odchylku porovnávaných modelů vůči referenčnímu modelu. Lze podle grafu (Graf 4) říci, že menší odchylku vůči modelu WorldDEM má model SRTM1 v3. „Krabicová“ část diagramu, která je ohraničena prvním a třetím kvantilem, je výrazně menší než v porovnání s modelem ASTER GDEM v2. V části mezi prvním a třetím kvantilem se nachází nejvíce hodnot, lze tedy vyvodit, že hodnoty site exposure indexu u SRTM1 v3 se méně odchylují od modelu WorldDEM.



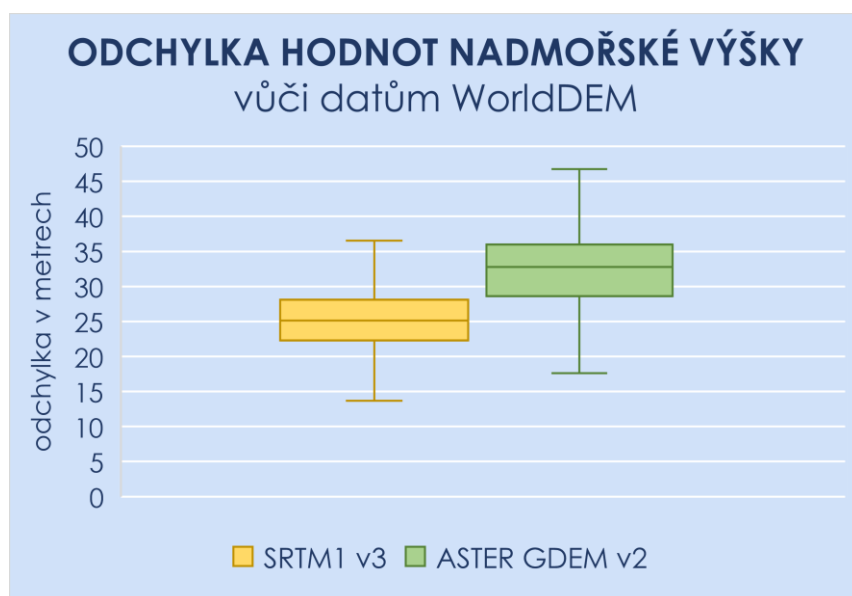
Graf 3: Odchylka hodnot site exposure index v místě nálezových dat

Druhý index, který byl porovnáván byl heat load index. Výsledné hodnoty indexu se pohybují v rozmezí od -1 do 1. Proto jsou i hodnoty odchylky výrazně menší než v případě předchozího indexu. Jako u prvního grafu i u druhého (Graf 5), je hlavní část grafu menší u SRTM1 v3 než u ASTER GDEM v2, ale minimální a maximální hodnota je větší. Jedná se však o outliery, jejichž výskyt není početný.



Graf 4: Odchylka hodnot heat load index v místě nálezových dat

K analýze stanovištních podmínek byl vytvořen mapový výstup (Příloha 7), který obsahuje mapu sklonů a orientací pro každý digitální model reliéfu. Ke každé mapě je dostupný i zoom, na kterém lze pozorovat podrobněji změnu hodnoty sklonu a orientace. Na mapě se nachází i bodová vrstva nálezových dat, která je dostupná pro daný extant. Každé stanoviště nálezových dat obsahuje tabulku, která detailněji popisuje hodnoty sklonu a orientace právě v bodech stanoviště. Nakonec mapový výstup obsahuje i tři krabicové grafy, které ukazují odchylku hodnot nadmořské výšky, sklonu a orientace daných reliéfů vůči datům WorldDEM. Na přiložené mapě tak lze rozeznat, že oba dva volně dostupné DMR mají horší kvalitu vytvořených topografický atributů. DMR se tak v stanovištních bodech hodně liší. U srovnání odchylky hodnot se z třech zobrazených nejvíce lišily hodnoty nadmořských výšek. WorldDEM má celkově vyšší hodnoty nadmořské výšky než ASTER GDEM v2 a SRTM1 v3. Proto jsou i odchylky v kladných číslech (Graf 5). Při porovnání si lze všimnout že odchylka SRTM1 v3 je v průměru o 10 metrů lepší než u ASTER GDEM v2. Opět lze říci, že SRTM1 v3 je v tomhle srovnání lepší a přesnější.



Graf 5: Odchylka hodnot nadmořské výšky, dostupné v příloze 7.



## 6 DISKUZE

Prvním krokem bylo stažení volně dostupných dat, která byla použita v bakalářské práci. Jednalo se o data ASTER GDEM v2, SRTM1 v3 a WorldClim v2.0. Referenčními daty v bakalářské práci byl model WorldDEM. Ten byl poskytnut vedoucím práce s omezeným plošným územním rozsahem. Jelikož se jedná o komerční data bylo nutné všechna data přizpůsobit právě modelu WorldDEM. Nálezová data se ztenčila z 3703 záznamů na 1460 záznamů a ostatní modely byly ponechány v územním rozsahu referenčního. Dalším problémem při řešení bylo prostorové hodnocení kvality DMR. Pokud by bylo hodnocení provedeno nad rastrem, bylo by nutné data převzorkovat na jednotné rozlišení. Aby nebyla poškozena kvalita dat, bylo zapotřebí zvolit jinou alternativu. Pomocí nástroje *Create Fishnet* byla vytvořena síť bodů a rozestupu bodů 12 metrů a do každého bodu byla nástrojem *Extract Multi Values to Point* extrahována hodnota rastru. Pokud by bylo tohle provedeno pro celý plošný rozsah modelu, jednalo by se o časově velmi náročnou výpočetní operaci. Dále by bylo vytvořeno velké množství dat. Prvně tedy byla zvolena dlaždice modelu o plošném rozsahu zhruba  $1^\circ \times 1^\circ$ . Množství nově vytvořených bodů by ale i v takovém případě byl 68 milionů. Byl proto zvolen ještě menší územní rozsah, který čítal zhruba 174 000 srovnávacích bodů. Pro zvolené území byly vypočítány prostorové metody hodnocení kvality DMR. Při hodnocení kvality DMR pomocí prostorových metod nebyla použita metoda Hammock Plot, která se používá, pokud jsou vstupními daty vrstevnice.

Při řešení hlavního cíle byl opět problémem čas a velikost souborů. Nástroj *Prepare Rasters for Maxent*, který chystá rastry přesně pro modelování prostorové distribuce nebylo možné spustit na mém počítači. Bylo nutné použít jiný počítač, na kterém byl nástroj spuštěn. Nástroj převádí rastry do ASCII souborů, které jsou velmi velké. Rastry, které byly převzorkovány z databáze WorldClim navíc musely být převzorkovány do dvou různých rozlišení. Tenhle postup byl nutný, aby zůstala data WorldDEM ve stejném rozlišení a nebyla poškozena jejich kvalita. Nálezová data byla taktéž upravena. Často byl na jednom stanovišti uveden výskyt v několika letech, nebo jedno stanoviště bylo víckrát zaměřeno. Proto byla zvolena vzdálenost 30 metrů mezi jednotlivými nalezišti. Vzdálenost byla vybrána kvůli rozlišení ASTER GDEM v2 a SRTM1 v3, aby na jedné buňce nebylo více bodů, které by následně mohly negativně ovlivňovat prostorovou distribuci druhů.

Dalším problémem bylo zvolení území pro tvorbu fyzického 3D modelu. Pro zobrazení vertikální členitosti bylo prvně vybráno malé území o velikosti 5 x 5 km. Jelikož na vytvořeném modelu byly stále vidět kostičky, které se tvořily díky nastavenému parametru spacing. Bylo nutné zvolit kompromis, který by zobrazoval dobře jak vertikální členitost, tak aby byla data co nejméně ovlivněna velkým spacingem. Dalším omezením byla velikost vstupujícího STL souboru do softwaru 3D tiskárny, která byla 200 MB. Proto bylo zvoleno území 10 x 10 km.

Práci je možné využít pro biology, kteří se budou zabývat prostorovou distribucí rostlin a budou k predikci využívat pouze klimatická a půdní data. Ovšem velmi důležitou roli v modelování prostorové distribuce hrají topografické atributy. Práci by bylo možné dále rozšířit na celé území Turecka nebo zkusit přidat do porovnání jiné globální modely terénu. Takhle práce by ale byla velmi náročná, protože celková velikost mých dat po smazání nepotřebných dílčích výsledků činila 212 GB.

## 7 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo srovnat kvalitu globálních digitálních modelů terénu s hlavním důrazem na prostorovou distribuci bobovitých rostlin a analýzu stanovištních podmínek.

V práci byly využity tři digitální modely reliéfu (ASTER GDEM v2, SRTM1 v3 a WorldDEM). WorldDEM byl brán jako referenční model, protože se jednalo o nejpřesnější model, který je dostupný globálně. Digitální modely reliéfu byly srovnávány pomocí dvou metod hodnocení kvality. První metodou bylo neprostorové hodnocení kvality DMR, kde byl použit výpočet střední kvadratické chyby a absolutní chyby. Bylo zjištěno, že v rámci neprostorového hodnocení kvality DMR se z hlediska lepšího a podobnějšího k modelu WorldDEM jevil SRTM1 v3. Ten měl celkově menší odchylku chyb než model ASTER GDEM v2. Při hodnocení prostorovými metodami hodnocení byly využity analýzy LISA a Getis Ord  $G_i^*$ . Při obou analýzách bylo složité určit, který z porovnávaných modelů je vůči modelu WorldDEM lepší. Nicméně podle vizuálního porovnání obou analýz bylo zjištěno, že o něco kvalitnější DMR je SRTM1 v3. Jeho plošný rozsah shluků s vysokými nebo nízkými hodnotami byl o něco menší. Podobnost porovnávaných dvou modelů je dána tím, že WorldDEM má lepší rozlišení a dokáže zachytit lépe průběh reliéfu. ASTER GDEM v2 a SRTM1 v3 jsou rozlišením horší modely a nedokážou zachytit tak dobře vertikální změnu reliéfu. Jejich povrch je trochu shlazen kvůli horšímu rozlišení. Díky tomu se vyskytují hot spots a cold spots nekoordinovaně a nelze přesně říci, zdali je model lepší v údolích nebo na hřebenech.

Pro vizuální porovnání modelů byl vytvořen fyzický 3D model reliéfu, na kterém lze opět zpozorovat detailnější průběh reliéfu u modelu WorldDEM. WorldDEM se tak vizuálně jevil jako nejlepší a nejpřesnější. Jeho chybou ale byla nekonzistentnost dat u větších vodních nádrží nebo toků, kde byly velké výkyvy mezi hodnotami nadmořských výšek. Ovlivněny byly tak nejenom hladiny nádrží, ale v jednom místě také přilehlé svahy. Jednalo se však pouze o velmi malou část území.

Dalším a hlavním cílem bylo zjistit, zdali digitální modely reliéfu mají vliv na modelování prostorové distribuce bobovitých rostlin. Do modelování vstupovaly nejprve data z databáze WorldClim v2.0, ke kterým byla vždy přidány topografické atributy jednotlivých DMR. Zde bylo jasně zjištěno, že pokud v algoritmu Maxent budou do modelování prostorové distribuce přidány topografické atributy, z velké části ovlivní výpočet algoritmu. Výsledné predikce s přidávanými topografickými atributy se ale lišily. Mezi mapami s daty ASTER GDEM v2 a SRTM1 v3 byl velmi malý rozdíl. Tyhle dvě predikce nejvíce ovlivňovala průměrná roční teplota, nadmořská výška, sklon svahu a roční úhrn srážek. Nadmořská výška ovlivňovala tyhle predikce zhruba z poloviny. Výslednou mapu WorldDEM nejvíce ovlivňoval úhrn srážek, který byl u předchozích dvou až na čtvrtém místě, dále průměrná roční teplota, sklon svahu a nadmořská výška. Změna tedy nastala i u nadmořské výšky, která měla menší váhu než sklon svahu. Na závěr lze konstatovat, že topografické atributy skutečně ovlivňují modelování prostorové distribuce, a to z velké části.

# POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

ARAÚJO, Miguel B. a Antoine GUIBAN. Five (or so) challenges for species distribution modelling. *Journal of Biogeography* [online]. 2006, **33**(10), 1677–1688 [cit. 2018-04-20]. DOI: 10.1111/j.1365-2699.2006.01584.x. ISSN 0305-0270.

ASHCROFT, M.B. A method for improving landscape scale temperature predictions and the implications for vegetation modelling. *Ecological Modelling* [online]. 2006, **197**(3–4), 394–404 [cit. 2018-04-20]. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2006.03.014. ISSN 03043800.

BALICE, Randy G., Jay D. MILLER, Brian P. OSWALD, Carl EDMINSTER, a Stephen R. YOOL. *Forest surveys and wildfire assessment in the Los Alamos Region; 1998-1999*. United States: N. p., 2000. [cit. 2018-05-09]. DOI:10.2172/758323.

BEERLINGER, D., B., HUNTLEY a J. BAILEY. Climate and the distribution of *Fallopia japonica*: use of an introduced species to test the predictive capacity of response surfaces. *Journal of Vegetation Science*. 1995, 6, 269–282.

BROWN JL, Bennett JR, French CM (2017). SDMtoolbox 2.0: the next generation Python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses. URL: <http://sdmtoolbox.org/>

BURROUGH, P. A., Rachael, MCDONNELL. *Principles of geographical information systems*. New York: Oxford University Press, 1998. ISBN 0198233663.

BUTLER, J. B., S. N. LANE a J. H. CHANDLER. Assessment of Dem Quality for Characterizing Surface Roughness Using Close Range Digital Photogrammetry. *The Photogrammetric Record* [online]. 1998, **16**(92), 271–291 [cit. 2018-04-20]. DOI: 10.1111/0031-868X.00126. ISSN 0031-868X.

CONCAR [online]. 2015 [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: [http://www.concar.gov.br/temp/283@Airbus\\_Manual.pdf](http://www.concar.gov.br/temp/283@Airbus_Manual.pdf)

DALY, Christopher, Michael HALBLEIB, Joseph I. SMITH, Wayne P. GIBSON, Matthew K. DOGGETT, George H. TAYLOR, Jan CURTIS a Phillip P. PASTERIS. Physiographically sensitive mapping of climatological temperature and precipitation across the conterminous United States. *International Journal of Climatology* [online]. 2008, **28**(15), 2031–2064 [cit. 2018-04-20]. DOI: 10.1002/joc.1688. ISSN 08998418.

*EarthExplorer* [online]. 2017 [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

*EPSG.io* [online]. 2016 [cit. 2018-07-20]. Dostupné z: <http://epsg.io/32637>

EVANS JS, Oakleaf J, Cushman SA (2014) An ArcGIS Toolbox for Surface Gradient and Geomorphometric Modeling, version 2.0-0. URL:

<https://github.com/jeffreyevans/GradientMetrics> Accessed: 2018-03-20.

FRANKLIN, Janet a Jennifer A. MILLER. *Mapping species distributions: spatial inference and prediction*. New York: Cambridge University Press, 2009. Ecology, biodiversity and conservation. ISBN 978-0-521-70002-3.

GAJOVIC, Vojkan a Bojana TODOROVIC. Spatial and temporal analysis of fires in Serbia for period 2000–2013. *Journal of the Geographical Institute Jovan Cvijic, SASA* [online]. 2013, **63**(3), 297–312 [cit. 2018-04-20]. DOI: 10.2298/IJGI1303297G. ISSN 0350-7599.

GALLANT, John C. a Michael F. HUTCHINSON. A differential equation for specific catchment area. *Water Resources Research* [online]. 2011, **47**(5) [cit. 2018-04-20]. DOI: 10.1029/2009WR008540. ISSN 00431397.

GESSLER, P. E., I. D. MOORE, N. J. MCKENZIE a P. J. RYAN. Soil-landscape modelling and spatial prediction of soil attributes. *International journal of geographical information systems* [online]. 1995, **9**(4), 421–432 [cit. 2018-04-20]. DOI: 10.1080/02693799508902047. ISSN 0269-3798.

HAGEER, Yasmin, Manuel ESPERÓN-RODRÍGUEZ, John B. BAUMGARTNER a Linda J. BEAUMONT. Climate, soil or both? Which variables are better predictors of the distributions of Australian shrub species?. *PeerJ* [online]. 2017, **5**, e3446- [cit. 2018-08-01]. DOI: 10.7717/peerj.3446. ISSN 2167-8359.

HIRANO, Akira, Roy WELCH a Harold LANG. Mapping from ASTER stereo image data: DEM validation and accuracy assessment. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* [online]. 2003, **57**(5–6), 356–370 [cit. 2018-04-20]. DOI: 10.1016/S0924-2716(02)00164-8. ISSN 09242716.

HIRT, C., M. S. FILMER a W. E. FEATHERSTONE. Comparison and validation of the recent freely available ASTER-GDEM ver1, SRTM ver4.1 and GEODATA DEM-9S ver3 digital elevation models over Australia. *Australian Journal of Earth Sciences* [online]. 2010, **57**(3), 337–347 [cit. 2018-04-20]. DOI: 10.1080/08120091003677553. ISSN 0812-0099.

HIRT, Christian. Digital Terrain Models. GRAFAREND, Erik, ed. *Encyclopedia of Geodesy* [online]. Cham: Springer International Publishing, 2014, 2014-5-20, s. 1-6 [cit. 2018-07-29]. DOI: 10.1007/978-3-319-02370-0\_31-1. ISBN 978-3-319-02370-0.

HOLMES, K.W, O.A CHADWICK a P.C KYRIAKIDIS. Error in a USGS 30-meter digital elevation model and its impact on terrain modeling. *Journal of Hydrology* [online]. 2000, **233**(1–4), 154–173 [cit. 2018-04-20]. DOI: 10.1016/S0022-1694(00)00229-8. ISSN 00221694.

HOUBA, M., M., HOCHMAN, V., HOSNEDL, et al. *Luskoviny pěstování a užití*. Kurent České Budějovice, 2009. ISBN 978-80-8711-19-2.

HUNTER, Gary J. a Michael F. GOODCHILD. Modeling the Uncertainty of Slope and Aspect Estimates Derived from Spatial Databases. *Geographical Analysis* [online]. 1997, **29**(1), 35–49 [cit. 2018-04-20]. DOI: 10.1111/j.1538-4632.1997.tb00944.x. ISSN 00167363.

HUTCHINSON, M. F. a J. C. GALLANT. Representation of terrain. *Geographical information systems* [online]. 1999. 105–124 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: [https://frew.eri.ucsb.edu/private/ESM263/week/7/Representation\\_of\\_terrain.pdf](https://frew.eri.ucsb.edu/private/ESM263/week/7/Representation_of_terrain.pdf)

HUTCHINSON, M.F. Thin plate spline interpolation of mean rainfall. In GOODCHILD, M. F., STEYAERT, L. T. a PARK, B. O. *GIS and Environmental Modeling: Progress and Research Issues*. 2011. Fort Collins, CO: GIS World Books.

IVERSON, Louis R., Martin E. DALE, Charles T. SCOTT a Anantha PRASAD. A GIS-derived integrated moisture index to predict forest composition and productivity of Ohio forests (U.S.A.). *Landscape Ecology* [online]. **12**(5), 331-348 [cit. 2018-07-29]. DOI: 10.1023/A:1007989813501. ISSN 09212973.

KEARNEY, Michael a Warren PORTER. Mechanistic niche modelling: combining physiological and spatial data to predict species' ranges. *Ecology Letters* [online]. 2009, **12**(4), 334–350 [cit. 2018-04-20]. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2008.01277.x. ISSN 1461023X.

KEARNEY, Michael R., Brendan A. WINTLE a Warren P. PORTER. Correlative and mechanistic models of species distribution provide congruent forecasts under climate change. *Conservation Letters* [online]. 2010, **3**(3), 203–213 [cit. 2018-04-20]. DOI: 10.1111/j.1755-263X.2010.00097.x. ISSN 1755263X.

KEMP, DR a PM DOWLING. Species distribution within improved pastures over central N.S.W. in relation to rainfall and altitude. *Australian Journal of Agricultural Research* [online]. 1991, **42**(4), 647- [cit. 2018-08-12]. DOI: 10.1071/AR9910647. ISSN 0004-9409.

KLINGSEISEN, Bernhard, Georgina WARREN a Graciela METTERNICHT. *GIS based generation of topographic attributes for landform classification in Australia* [online]. 2004,[cit. 2018-04-20].

LAHOLA, Josef. *Luskoviny: pěstování a využití*. Praha: SZN, 1990. Rostlinná výroba (Státní zemědělské nakladatelství). ISBN 80-209-0127-2.

LASSUEUR, Thierry, Stéphane JOOST a Christophe F. RANDIN. Very high resolution digital elevation models: Do they improve models of plant species distribution?. *Ecological Modelling* [online]. 2006, **198**(1–2), 139–153 [cit. 2018-04-20]. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2006.04.004. ISSN 03043800.

MCCUNE, Bruce a Dylan KEON. Equations for potential annual direct incident radiation and heat load. *Journal of Vegetation Science* [online]. 2002, **13**(4), 603–606 [cit. 2018-07-29]. DOI: 10.1111/j.1654-1103.2002.tb02087.x. ISSN 11009233.

MCCUNE, Bruce. Improved estimates of incident radiation and heat load using non-parametric regression against topographic variables. *Journal of Vegetation Science* [online]. 2007, **18**(5), 751–754 [cit. 2018-04-20]. DOI: 10.1111/j.1654-1103.2007.tb02590.x. ISSN 11009233.

MOORE, I. D., R. B. GRAYSON a A. R. LADSON. Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes* [online]. 1991, **5**(1), 3–30 [cit. 2018-04-20]. DOI: 10.1002/hyp.3360050103. ISSN 08856087.

NASA – ASTER [online]. 2017 [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <https://asterweb.jpl.nasa.gov/>

NASA – SRTM [online]. 2017 [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>

PELIKÁN, Jan a Miroslav HÝBL. *Rostliny čeledi Fabaceae LINDL. (bobovité) České republiky: (se zvláštním zaměřením na druhy významné pro zemědělství)*. Troubsko: Zemědělský výzkum Troubsko, 2012. ISBN 978-80-905080-2-6.

PHILLIPS, Steven J., Miroslav DUDÍK a Robert E. SCHAPIRE. A maximum entropy approach to species distribution modeling. In: *Twenty-first international conference on Machine learning - ICML '04* [online]. New York, New York, USA: ACM Press, 2004, 2004, s. 83–92 [cit. 2018-04-20]. DOI: 10.1145/1015330.1015412. ISBN 1581138285.

PHILLIPS, Steven J. a Miroslav DUDÍK. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* [online]. 2008, **31**(2), 161–175 [cit. 2018-04-20]. DOI: 10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x. ISSN 0906-7590.

PHILLIPS, Steven J., Miroslav DUDÍK, Robert E. SCHAPIRE. [Internet] Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1). Available from url: [http://biodiversityinformatics.amnh.org/open\\_source/maxent/](http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/). Accessed on 2018-8-2.

QUINN, P., K. BEVEN, P. CHEVALLIER a O. PLANCHON. The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models. *Hydrological*

*Processes* [online]. 1991, **5**(1), 59–79 [cit. 2018-04-20]. DOI: 10.1002/hyp.3360050106. ISSN 08856087.

SKIDMORE, ANDREW K. Terrain position as mapped from a gridded digital elevation model. *International Journal of Geographical Information Systems* [online]. 1990 **4**(1), 33–49 [cit. 2018-04-20]. DOI: 10.1080/02693799008941527. ISSN 0269-3798.

SPEIGHT, JG. Parametric approach to landform regions. *Special Publication of the Institute of British Geographers*. 1974, 7, 213–30.

SVOBODOVÁ, J., P., TUČEK, J., ONDRÁČKOVÁ. Evaluace digitálních modelů reliéfu metodami statistické analýzy. *Geodetický a kartografický obzor*, 2009, roč. 55/97, č. 9, s. 227–231. ISSN 0016-7096.

SVOBODOVÁ, Jana. *Hodnocení kvality digitálních výškových modelů pro environmentální aplikace*. Ostrava, 2011. Disertační práce. Ostravská Univerzita.

THOMAS, Chris D., Alison CAMERON, Rhys E. GREEN, et al. *Extinction risk from climate change*. *Nature* [online]. 2004, **427**(6970), 145–148 [cit. 2018-04-20]. DOI: 10.1038/nature02121. ISSN 0028-0836.

USGS. *United States Geological Survey* [online]. 2018 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://www.usgs.gov/faqs/what-difference-between-a-dem-and-a-dtm>

VAN NIEL, Kimberly P. a Mike P. AUSTIN. PREDICTIVE VEGETATION MODELING FOR CONSERVATION: IMPACT OF ERROR PROPAGATION FROM DIGITAL ELEVATION DATA. *Ecological Applications* [online]. 2007, **17**(1), 266–280 [cit. 2018-04-20]. DOI: 10.1890/1051-0761(2007)017[0266:PVMFCI]2.0.CO;2. ISSN 1051-0761.

VUGTK – *Terminologická komise ČÚZK* [online]. 2018 [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <http://www.vugtk.cz/slovník/index.php>

WISE, Stephen. *Assessing the quality for hydrological applications of digital elevation models derived from contours* [online]. 2000, 1909–1929 [cit. 2018-04-20]. DOI: 10.1002/1099-1085(20000815/30)14:11/12<1909::AID-HYP45>3.0.CO;2-6.

WOOD, Joseph. *The geomorphological characterisation of Digital Elevation Models*. Leicester: Geography Department, University of Leicester, UK, 1996. 466 s. PhD thesis. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/2381/34503>

WOOD, Joseph. Digital elevation model (DEM). In KEMP, Karen K. *Encyclopedia of geographic information science*. Los Angeles: SAGE Publications, 2008. 107–110. ISBN 978-1-4129-1313-3.

*WorldClim* [online]. 2017 [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <http://worldclim.org/version2>

ZEVENBERGEN, Lyle W. a Colin R. THORNE. Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surface Processes and Landforms* [online]. 1987, **12**(1), 47–56 [cit. 2018-04-20]. DOI: 10.1002/esp.3290120107. ISSN 01979337.



## **PŘÍLOHY**

# SEZNAM PŘÍLOH

## Vázané přílohy:

- Příloha 1 Mapa predikce výskytu bobovitých rostlin s daty WorldClim
- Příloha 2 Mapa predikce výskytu bobovitých rostlin s daty WorldClim a ASTER GDEM
- Příloha 3 Mapa predikce výskytu bobovitých rostlin s daty WorldClim a SRTM
- Příloha 4 Mapa predikce výskytu bobovitých rostlin s daty WorldClim a WorldDEM
- Příloha 5 Mapa srovnání digitálních modelů reliéfu s použitím barevné hypsometrie

## Volné přílohy

- Příloha 6 Poster
- Příloha 7 Mapa sklonů a orientací
- Příloha 8 Fyzický model 3D reliéfu – ASTER GDEM v2
- Příloha 9 Fyzický model 3D reliéfu – SRTM1 v3
- Příloha 10 Fyzický model 3D reliéfu – WorldDEM
- Příloha 11 DVD

## Struktura DVD

Adresáře:

Metadata

Text\_Prace

Poster

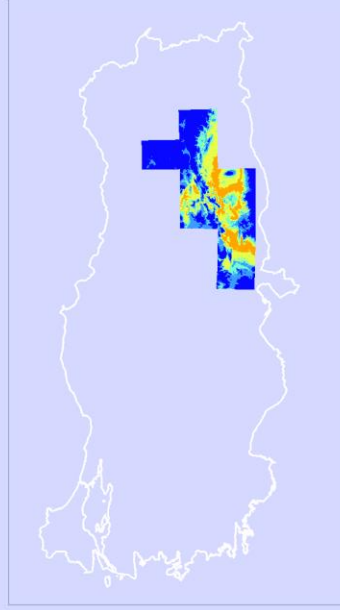
Vstupni\_Data

Vystupni\_Data

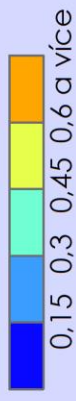
WEB

# PREDIKCE VÝSKYTU BOBOVITÝCH ROSTLIN

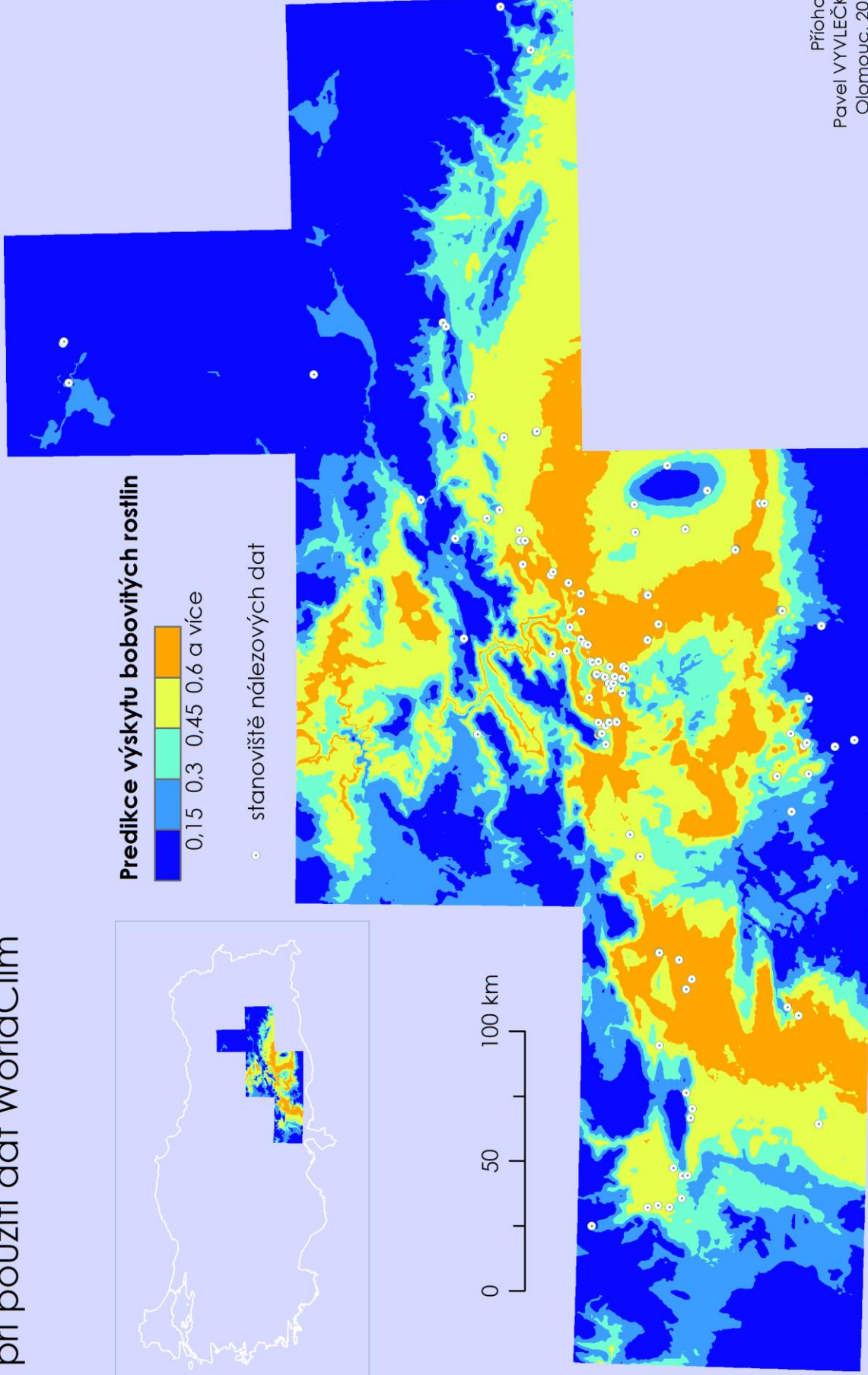
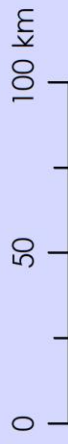
při použití dat WorldClim



Predikce výskytu bobovitých rostlin

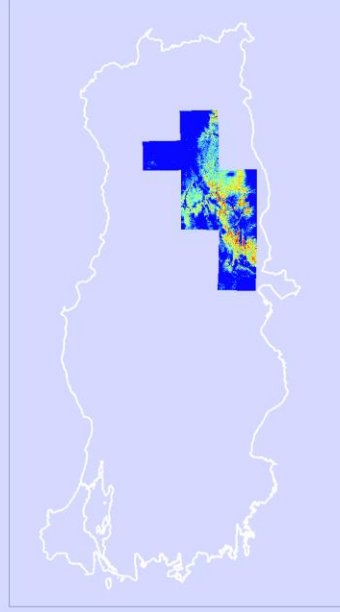


○ stanoviště nálezových dat



# PREDIKCE VÝSKYTU BOBOVITÝCH ROSTLIN

při použití dat WorldClim a ASTER GDEM v2

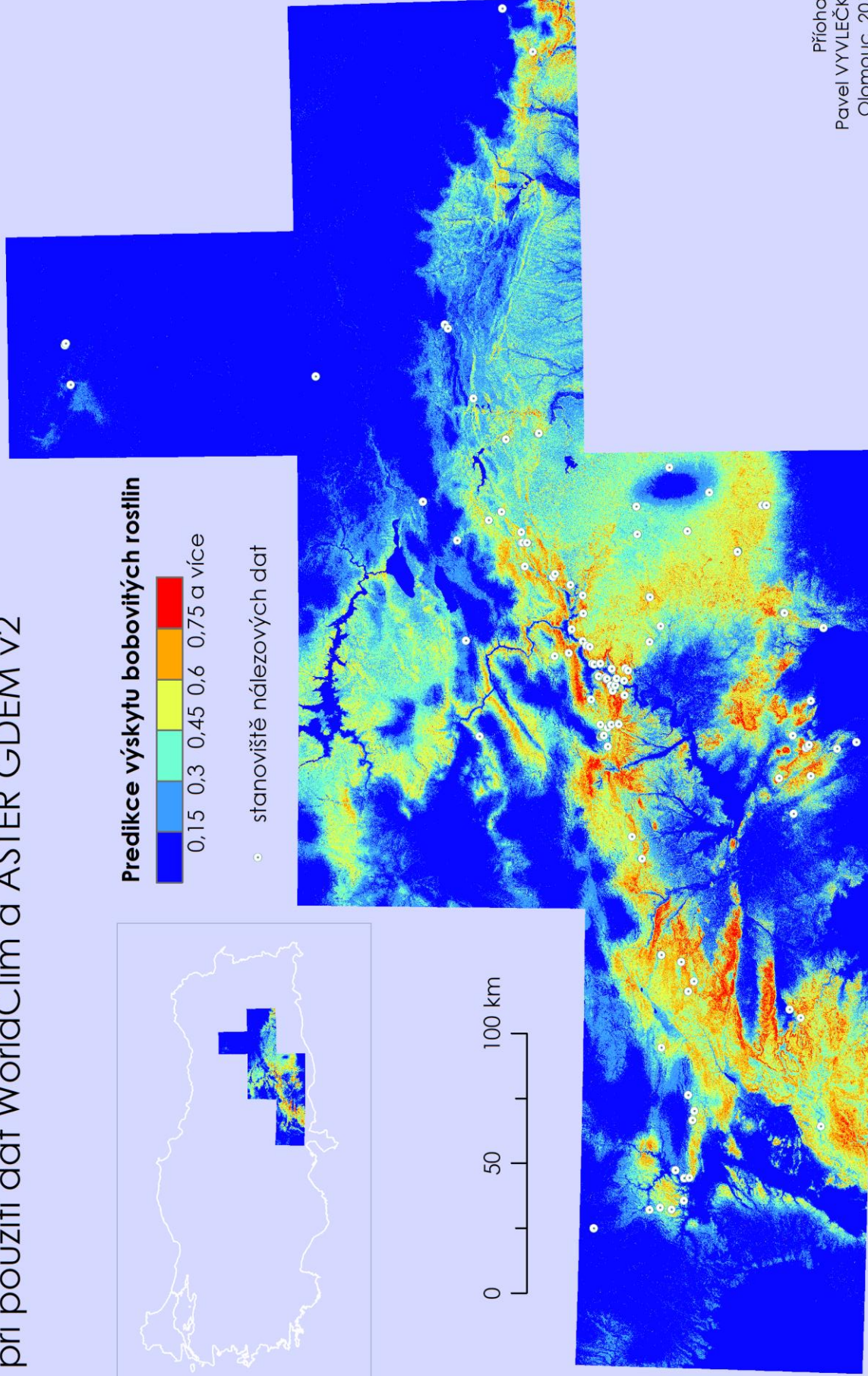


Predikce výskytu bobovitých rostlin



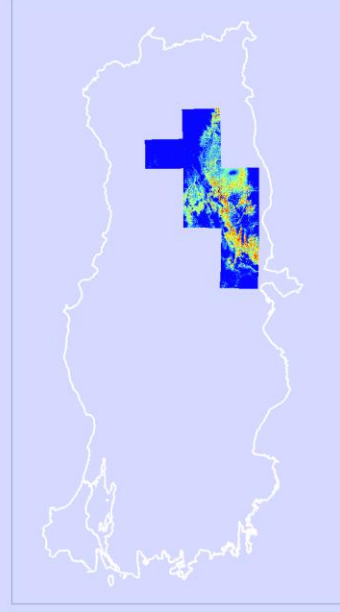
○ stanoviště náleзовých dat

0 50 100 km



# PREDIKCE VÝSKYTU BOBOVITÝCH ROSTLIN

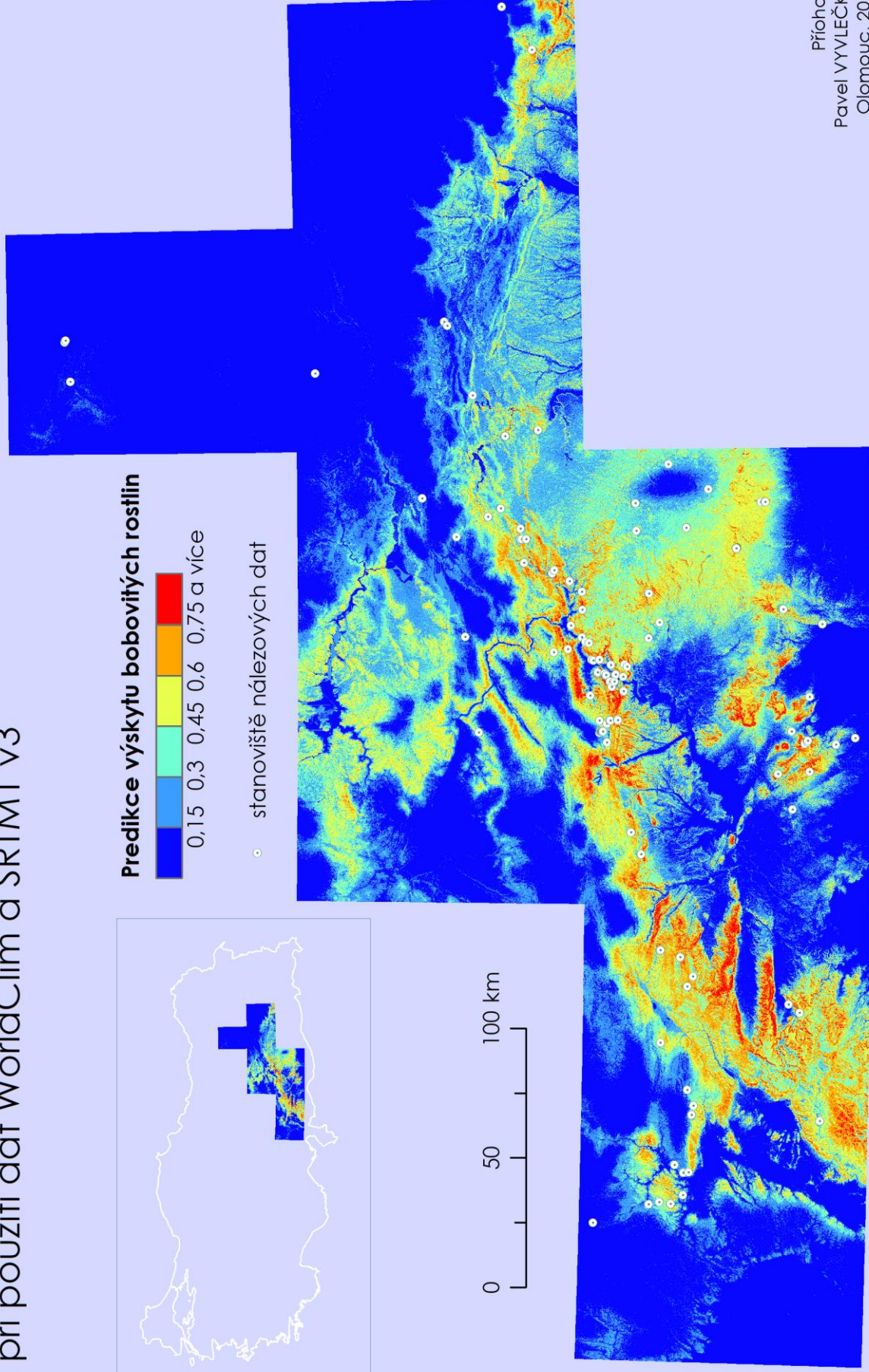
při použití dat WorldClim a SRTM1 v3



Predikce výskytu bobovitých rostlin

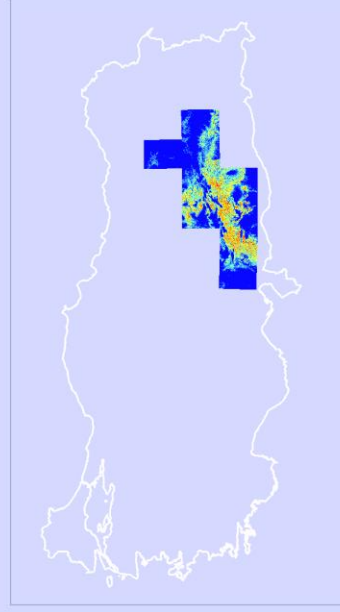


○ stanoviště nálezových dat



# PREDIKCE VÝSKYTU BOBOVITÝCH ROSTLIN

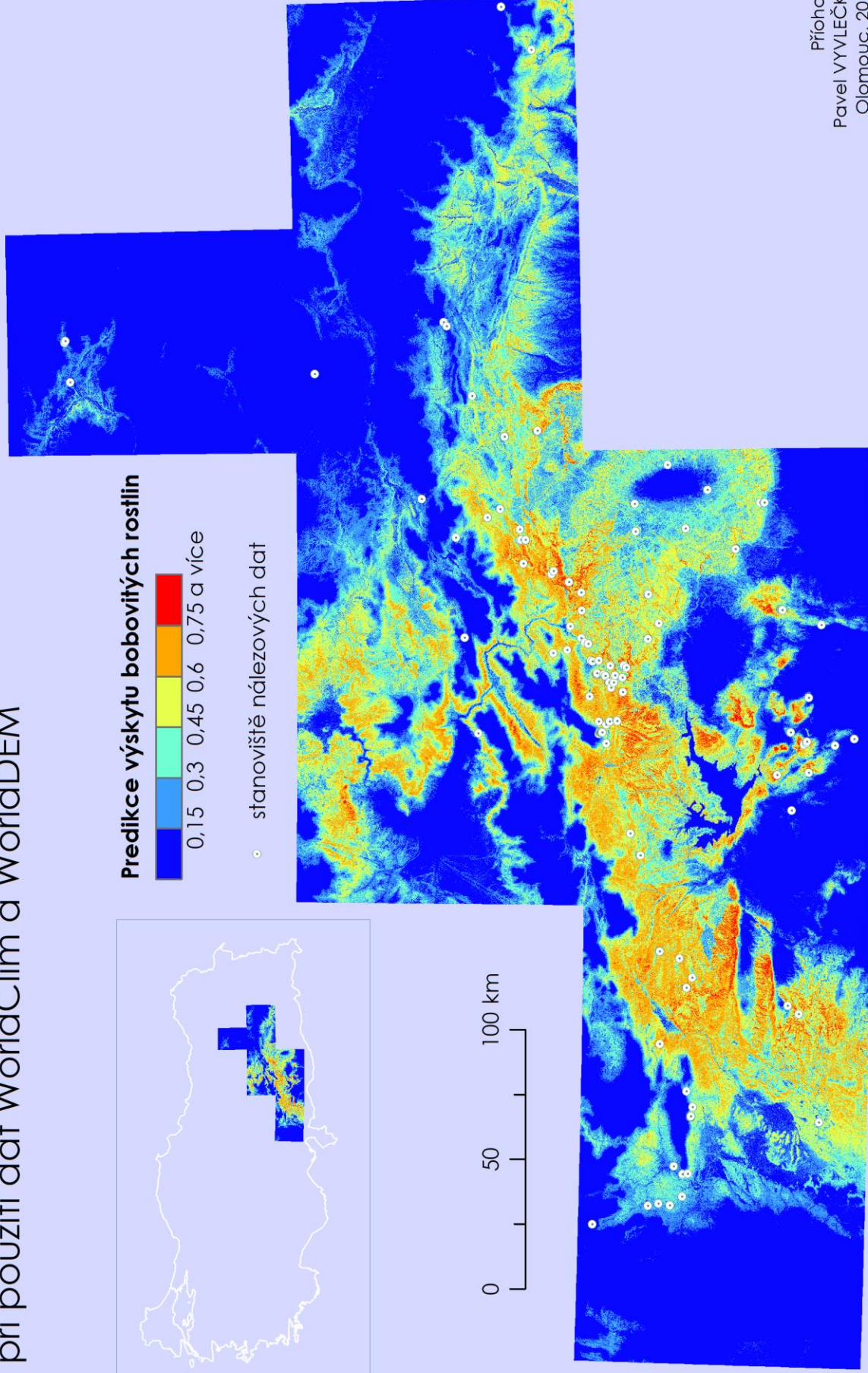
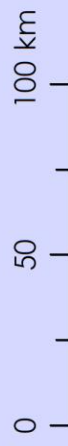
při použití dat WorldClim a WorldDEM



Predikce výskytu bobovitých rostlin



○ stanoviště nálezových dat

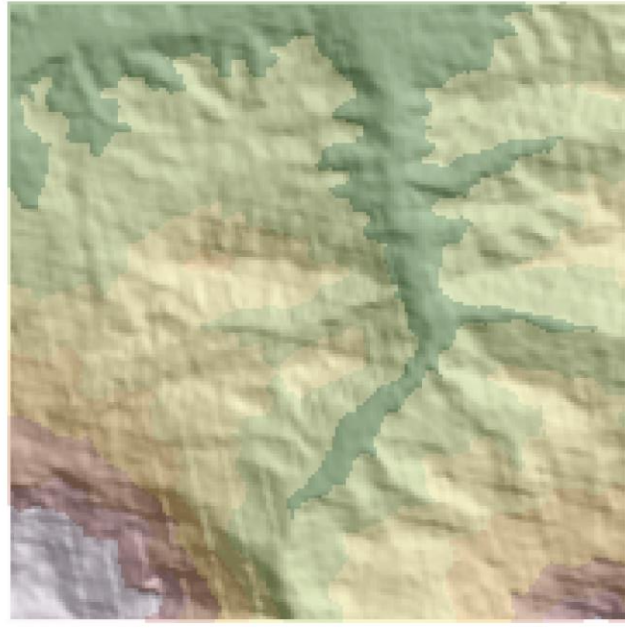
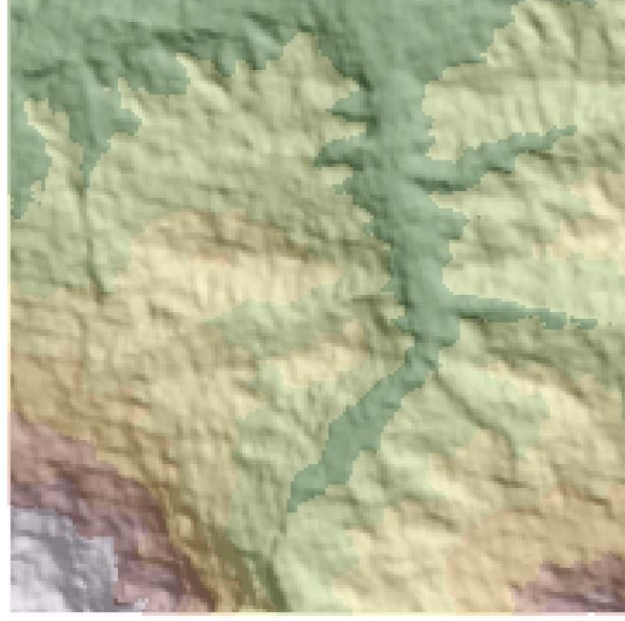


# SROVNÁNÍ DIGITÁLNÍCH MODELŮ RELIÉFU

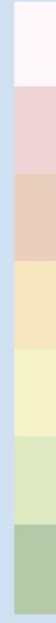
WorldDEM

ASTER GDEM V2

SRTM1 V3



Nadmořská výška



750 900 1050 1200 1350 1500 m