

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE  
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ  
KATEDRA APLIKOVANÉ GEOINFORMATIKY A ÚZEMNÍHO PLÁNOVÁNÍ



Fakulta životního  
prostředí

## **Digitální modely terénu v distribučních modelech sladkovodních ekosystémů**

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Vítězslav Moudrý, Ph.D.

Diplomant: Bc. Petra Pechová

2017



Česká zemědělská univerzita v Praze  
Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Autorka práce:	Bc. Petra Pechová
Studijní program:	Krajinné inženýrství
Obor:	Krajinné inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Vítězslav Moudrý, Ph.D.
Garantující pracoviště:	Katedra aplikované geoinformatiky a územního plánování
Jazyk práce:	Čeština
Název práce:	<b>Digitální modely terénu v distribučních modelech sladkovodních ekosystémů</b>
Název anglicky:	<b>Digital elevation models in freshwater species distribution models</b>
Cíle práce:	Cílem práce je posoudit vliv různé kvality digitálních výškových modelů na kvalitu modelů druhové distribuce.  <ul style="list-style-type: none"><li>- Porovnání modelů DMR5G a SRTM s daty leteckého laserového skenování</li><li>- Generování virtuálního druhu</li><li>- Vytvoření modelů druhové distribuce s daty různé kvality</li><li>- Porovnání vytvořených modelů z hlediska predikované presence/absence</li></ul>
Metodika:	Modelování druhové distribuce (Species Distribution Modelling, SDM) patří mezi oblíbené nástroje v ekologii a biogeografii. Jejich cílem je obvykle najít environmentální proměnné, které mohou mít významný vliv na rozšíření druhu nebo rozšíření druhu predikovat. Jedním z důležitých vstupů do SDM jsou digitální modely terénu (DEM). V současné době lze nalézt různé zdroje DEM, které jsou obvykle získány odlišnými metodami (a tudíž mají různé rozlišení a vertikální přesnost). Mezi globálně a volně dostupné patří například SRTM (rozlišení 30m). Na území ČR je navíc dostupný model terénu DMR5G a pro KRNP také velmi přesná data leteckého laserového skenování (LiDAR). Autorka se v literární rešerši zaměří na modelování druhové distribuce ve sladkovodních ekosystémech a na kvalitu vstupních prostorových dat. Dostupné modely terénu (DMR5G a SRTM) porovná s daty leteckého laserového skenování pro vybraný tok v Krkonošském národním parku. Vytvoří virtuální druh, na jehož příkladu otestuje vliv kvality digitálních výškových modelů na kvalitu modelu.
Doporučený rozsah práce:	40 - 50 stran
Klíčová slova:	Formulace klíčových slov je úkolem autora.

Doporučené zdroje informací:

1. Domisch, S., Jähnig, S. C., Simaika, J. P., Kuemmerlen, M., & Stoll, S. (2015). Application of species distribution models in stream ecosystems: the challenges of spatial and temporal scale, environmental predictors and species occurrence data. *Fundamental and Applied Limnology/Archiv für Hydrobiologie*, 186(1-2), 45-61.
2. Goodchild, M. F. (2011). Scale in GIS: An overview. *Geomorphology*, 130(1), 5-9.
3. LEROY, Boris, Christine N. MEYNARD, Céline BELLARD a Franck COURCHAMP. Virtualspecies, an R package to generate virtual species distributions. *Ecography*. 2015, , 001-009. DOI: 10.1111/ecog.01388. ISSN 09067590
4. MOUDRÝ, Vítězslav. Modelling species distributions with simulated virtual species. *Journal of Biogeography*. 2015,42(8). DOI: 10.1111/jbi.12552. ISBN 10.1111/jbi.12552.
5. Vaze, J., Teng, J., & Spencer, G. (2010). Impact of DEM accuracy and resolution on topographic indices. *Environmental Modelling & Software*, 25(10), 1086-1098.

Předběžný termín obhajoby: 2016/17 LS - FŽP

Konzultant: Ing. Vítězslav Moudrý Ph.D.

Elektronicky schváleno: 17. 4. 2017  
**doc. Ing. Petra Šímová, Ph.D.**  
Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno: 18. 4. 2017  
**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**  
Děkan

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením Ing. Vítězslava Moudrého, Ph. D., a že uvádím veškeré literární zdroje, ze kterých jsem čerpala.

V Praze dne 17. 4. 2017

.....

## PODĚKOVÁNÍ

Za vedení práce, cenné rady, připomínky a odborný nadhled velmi děkuji Vítězslavu Moudrému. Děkuji Správě Krkonošského národní parku za poskytnutí dat LiDAR.

Práce byla podpořena Interní grantovou agenturou FŽP ČZU (IGA 20154254).

## Abstrakt

Modelování druhové distribuce (SDM) je populárním nástrojem pro zjišťování ekologických nároků druhů a predikci jejich potenciálního rozšíření. Zásadní význam mají proměnné vstupující do modelů a způsob jejich pořízení. Do modelů druhové distribuce velmi často vstupují digitální modely terénu (DEM) nebo z nich odvozené charakteristiky, například svažitost terénu. Běžně dostupné jsou DEM v různém rozlišení a s jinou vertikální přesností (DMR 5G a SRTM). Cílem je porovnat dostupné DEM s velmi přesnými daty leteckého laserového skenování (LiDAR) a zaměřit se na sladkovodní ekosystémy v horském terénu. Vytvořit model druhové distribuce s různě kvalitními daty a posoudit vliv jejich kvality na výkon modelu. K porovnání výškových modelů terénu a modelů svažitosti terénu ve sladkovodních ekosystémech byl vybrán Modrý potok a část řeky Úpy v horském členitém terénu Krkonošského národního parku. Byl vytvořen virtuální druh sladkovodního ekosystému s presenčně-absenčními záznamy výskytu. Vstupujícími daty do modelu byly záznamy výskytu druhu a svažitost terénu z různě kvalitních DEM. Pro modelování byl zvolen přístup křížové validace a generalizovaného lineárního modelu. Hodnoty RMSE prokázaly rozdílnou vertikální přesnost DEM, RMSE pro DMR 5G je 0,64 metru a pro SRTM je rovna 14,77 metrů. SRTM zatížený výraznou vertikální chybou není vhodným DEM pro modely druhové distribuce. Tento výzkum poskytuje stručný náhled do problematiky SDM a může pomoci při výběru DEM pro účely SDM i pro jiné analýzy DEM.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Digitální model terénu, svažitost, rozlišení, modelování druhové distribuce, LiDAR, DMR 5G, SRTM.

## ABSTRACT

Species distribution modelling (SDM) is a popular tool for determination of environmental requirements of species and prediction of their potential distribution. The variables entering the model along with the method of their acquisition are of crucial importance. Digital elevation models (DEM) or characteristics derived from them, for example the slope of the terrain, very often enter species distribution models. DEMs are generally available in different resolutions and different vertical accuracy (DMR 5G and SRTM). The aim is to compare the available DEMs with the very accurate data of the Light Detection and Ranging (LiDAR) and focus on freshwater ecosystems in the mountain terrain, create the species distribution model with different quality and assess the influence of their quality on the model performance. The Modrý potok stream and part of the river Úpa in the rugged mountain terrain of The Krkonoše Mountains National Park was selected to compare the digital elevation models and slope of the terrain models in freshwater ecosystems. A virtual species of a freshwater ecosystem with presence-absence records of occurrence has been created. Records of the species occurrence and the slope of terrain from varying quality DEMs have been utilized as input data into the model. A cross-validation and generalized linear model approaches have been selected for modelling. RMSE values demonstrate different vertical accuracy of DEM, RMSE for DMR 5G is 0.64 m and the SRTM is equal to 14.77 m. SRTM loaded distinct vertical error is not suitable DEM for models of species distributions. This research provides a brief insight into the SDM and can help with the selection of DEM for SDM purposes to other DEM analysis.

## KEYWORDS

Digital elevation model, slope, resolution, species distribution modeling, LiDAR, DMR 5G, SRTM.

## Obsah

1	Úvod.....	11
2	Cíle práce .....	12
3	Literární rešerše .....	13
3.1	Modelování druhové distribuce.....	13
3.1.1	Modely druhové distribuce .....	14
3.1.2	Modely distribuce sladkovodních druhů.....	14
3.1.3	Modelovací algoritmy .....	15
3.2	Data vstupující do modelů.....	15
3.2.1	Záznamy výskytu druhu.....	16
3.2.2	Environmentální proměnné.....	16
3.2.3	Neurčitost dat a zdroje chyb.....	18
3.3	Hodnocení modelů .....	19
3.4	Vliv měřítka na modely distribuce .....	20
4	Metodika .....	22
4.1	Charakteristika zájmového vodního toku.....	22
4.1.1	Základní údaje.....	22
4.1.2	Přírodní poměry .....	24
4.1.3	Územní ochrana .....	24
4.2	Charakteristika dat.....	25
4.2.1	DEM LiDAR.....	25
4.2.2	DMR 5G.....	26
4.2.3	SRTM.....	26
4.2.4	Vodní tok.....	27
4.3	Analýza digitálních modelů terénu.....	28
4.3.1	Vodní tok ve výškových modelech terénu.....	28
4.3.2	Vodní tok v modelech svažitosti terénu .....	30
4.3.3	Evaluace modelů terénu .....	31
4.4	Model druhové distribuce.....	31
4.4.1	Model virtuálního druhu .....	32
4.4.2	Evaluace svažitosti v SDM .....	32
5	Výsledky .....	34
5.1	Vodní tok ve výškových modelech terénu .....	34
5.2	Vodní tok v modelech svažitosti terénu .....	36



5.2.1	Vizualizace svažitosti.....	36
5.2.2	Porovnání svažitosti vodního toku.....	36
5.3	Model druhové distribuce.....	38
6	Diskuze .....	40
7	Závěr .....	42
8	Přehled literatury a použitých zdrojů.....	43
9	Seznamy.....	48
9.1	Obrázky .....	48
9.2	Tabulky.....	48
9.3	Přílohy .....	49
10	Přílohy.....	50

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AUC	Area Under the ROC Curve (plocha pod křivkou ROC)
CORINE/CLC	Coordination of Information on the Environment/CORINE Land Cover (informace o krajinném pokryvu)
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DIBAVOD	Digitální báze vodohospodářských dat
DEM	Digital Elevation Model (digitální výškový model)
DMR	Digitální model reliéfu
GIS	Geographic Information System (geografický informační systém)
GLM	Generalized Linear Model (zobecněný lineární model)
GPS	Global Positioning System (globální polohový systém)
LiDAR	Light Detection and Ranging (laserová detekce a určování vzdáleností)
KRNAP	Krkonošský národní park
RMSE	Root Mean Square Error (střední kvadratická chyba)
S-JTSK	Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální
SDM	Species Distribution Modeling (modelování druhové distribuce)
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
USGS	United States Geological Survey (Americká geologická služba)
WGS 84	World Geodetic System 1984 (světový geodetický systém 1984)
WMS	Web Map Service (webová mapová služba)

# 1 ÚVOD

Modelování distribuce druhů je oblíbeným nástrojem pro mapování biotopů, modelování vhodných stanovišť, zjišťování ekologických nároků druhů, modelování vlivu změn klimatu, studium dopadů využívání půdy, ... (Araújo, Luoto, 2007; Pearson, 2007; Domisch et al., 2015b). Modely druhové distribuce jsou široce využívány pro suchozemskou, sladkovodní i mořskou říši (Elith, Leathwick, 2009; Kuemmerlen et al., 2014, 2015; Domisch et al., 2015b). Obecný princip modelu druhové distribuce přehledně uvádí Pearson (2007) a mnoho autorů se věnuje nejistotám, které jsou spojeny s daty vstupujícími do modelu (Elith et al., 2002; Deng et al., 2007; Moudrý, Šímová, 2012a).

Mnoho výzkumů se věnuje kvalitě dat. Pro sladkovodní ekosystémy je důležitá zejména topografie, která ovlivňuje většinu aspektů bilance vody v povodí. Z výškových modelů terénu se navíc odvozují další charakteristiky terénu. Na kvalitu DEM má vliv především zdroj dat a rozlišení. Interpretací terénu v závislosti na rozlišení DEM se zabývají například Zhang, Montgomery (1994), Deng et al. (2007), Vaze et al. (2010) a zaměřují se na říční systém. S pokrokem v oblasti výpočetní techniky se stávají dostupnější velké datové soubory, jejichž specifíkem je vysoké rozlišení (LiDAR). Možnost využití těchto dat láká ke zkoumání vlivu rozlišení v různých aspektech (Vaze et al., 2010).

Kuemmerlen et al. (2014, 2015) ve svých výzkumech zahrnují do modelů druhové distribuce sladkovodních ekosystémů širokou škálu vstupních dat s využitím topografických prediktorů. V první z nich se jedná o nadmořskou výšku, svažitost, aspekt a akumulaci vody. Ve druhé používají svažitost terénu jako náhradu za rychlost proudění a nasycení vody kyslíkem. Už ovšem neřeší kvalitu DEM. Tato práce se zaměřuje na hodnocení přesnosti dostupných modelů terénu a vliv kvality DEM v distribučních modelech sladkovodních ekosystémů.

## **2 CÍLE PRÁCE**

Hlavním cílem práce je zhodnotit přesnost dostupných modelů terénu a posoudit vliv prostorového měřítka a vertikální přesnosti digitálních modelů terénu na výpočet charakteristik vodních toků. A to se zaměřením na využití v distribučních modelech sladkovodních druhů živočichů v horském terénu.

V rámci tohoto úkolu byly vytyčeny dílčí cíle:

- zachytit průběh výškového modelu terénu v korytě horského vodního toku
- charakterizovat svažitosť vodního toku z různých zdrojů dat
- porovnat svažitosť v závislosti na rozlišení výškového modelu terénu
- posoudit vliv použitých dat na svažitosť terénu
- vytvořit virtuální druh a model druhové distribuce
- zhodnotit kvalitu DEM pro využití v modelech druhové distribuce

### **3 LITERÁRNÍ REŠERŠE**

Literární rešerše se zaměřuje na modelování druhové distribuce a snaží se stručně a výstižně zachytit princip fungování modelů. Dále se věnuje charakteristice vstupních dat a problematice vlivu měřítka na modely druhové distribuce.

#### **3.1 Modelování druhové distribuce**

Pro posouzení biogeografických otázek distribuce druhu jako jsou požadavky druhu na stanoviště, dopady využívání půdy nebo změny klimatu, se stále častěji využívá mapování a modelování biotopů vhodných pro daný druh (Domisch et al., 2015b). Informace o výskytu druhu a jeho environmentálních nárocích jsou pomocí modelů druhové distribuce zpracovány do map predikujících vhodná stanoviště pro tento druh (Pearson, 2007; Moudrý, Šímová, 2012a). Modelování distribuce druhů je populárním nástrojem pro vytváření modelů potenciálního rozšíření druhů a pro identifikaci charakteristik prostředí, na kterých je distribuce závislá (Elith, Leathwick, 2009; Domisch et al., 2015b). Uplatní se také v simulacích změn klimatu a dopadů na životní prostředí (Araújo, New, 2007). Díky tomu mají modely druhové distribuce široké uplatnění nejen v akademické sféře. Jsou důležitým nástrojem pro řízení přístupů a při plánování ochrany (Domínguez-Domínguez et al., 2006; Moudrý, Šímová, 2012a; Domisch et al., 2015b). Vzhledem k tomu, že eventuální rozšíření druhu predikují na základě známého výskytu a ekologických nárocích, mají velký potenciál i v aplikaci ochrany přírody (Pearson, 2007).

Modely druhové distribuce jsou numerické nástroje, kombinující pozorovaný výskyt druhu nebo odhady četnosti v oblasti životního prostředí a využívají se pro modelování v suchozemské, mořské i sladkovodní říši (Elith, Leathwick, 2009). Pearson (2007) uvádí podrobný popis procesu vytvoření modelu. Prvním a zásadním krokem je příprava vstupních dat pro zpracování v prostředí GIS. Data jsou dvojího typu a jsou podrobně popsána v kapitole 3.2. Druhým krokem a rovněž zásadním je výběr modelovacího přístupu, tedy algoritmu. Vhodný výběr není jednoznačný a je závislý na dalších faktorech, více v kapitole 3.1.3. V další fázi je potřeba model kalibrovat, tedy vybrat vhodné parametry a testovat význam vysvětlujících proměnných (prediktorů). Následně se vytvoří mapa potenciálního rozšíření druhu, u níž se testuje prediktivní výkonnost prostřednictvím statistického vyhodnocení. Zmíněné postupy se od fáze kalibrace opakují, dokud model nepodává optimální

výsledky. Výstup modelu je označován různě – druhová distribuce, ekologická nika, vhodná stanoviště (Pearson, 2007).

### **3.1.1 Modely druhové distribuce**

Modely rozšíření druhu spočívají v zaznamenání geografického výskytu druhu s environmentálními podmínkami místa výskytu, čímž jsou zachycena pravidla výskytu, a následné extrapolaci pravděpodobnosti výskytu druhu v celé studované oblasti, se zohledněním času, měřítka a dalších faktorů (Araújo, Guisan, 2006; Pearson, 2007; Elith, Leathwick, 2009; Moudrý, Šímová, 2012a; Domisch et al., 2015b). Pearson (2007) zdůrazňuje, že se jedná o potenciální distribuci, tento výraz je poměrně zavádějící a spíše se jedná o vhodné podmínky prostředí, protože existuje celá řada důvodů, proč není druh rozšířen na všech místech s vhodným stanovištěm (např. geografické překážky, konkurence jiných druhů, atd.).

Do jaké míry je model závislý na environmentálních proměnných přímo souvisí s přiměřeností použitých prediktorů v rámci modelu (Araújo, Guisan, 2006). Prediktory vhodné pro určitý druh mohou být charakterizovány mechanistickými nebo korelativními přístupy. Cílem mechanistických přístupů je začlenit fyziologické mechanismy, které omezují toleranci druhu k podmínkám prostředí. Cílem korelativních modelů je odhadnout vhodné podmínky prostředí pro druh na základě přiřazení známých výskytů druhu s vhodnými proměnnými prostředí, u kterých předpokládáme, že ovlivňují druhovou fyziologii a pravděpodobně přetrvávají (Pearson, 2007).

### **3.1.2 Modely distribuce sladkovodních druhů**

Sladkovodní ekosystémy představují nejzranitelnější ekosystémy s největší biodiverzitou a vzácnými druhy, které výrazně ohrožuje lidská činnost. Nejvýznamnějšími hrozbami je nadměrné využívání a znečišťování vody, modifikace průtoku, znečištění nebo degradace stanovišť, invaze exotických druhů a v neposlední řadě klimatické změny. Tyto vlivy vedly k poklesu populací a snížení rozsahu sladkovodní biodiverzity po celém světě (Dudgeon et al., 2006; Sundermann et al., 2013).

Ačkoli je rámec modelování podobný u suchozemských, mořských i sladkovodních oblastí, pro získání spolehlivého modelu vyžaduje každá oblast specifické kombinace environmentálních proměnných, záznamů výskytu druhu, měřítka, atd. (Domisch et al., 2015a). Navíc u modelů sladkovodních druhů (na rozdíl od suchozemských)

ovlivňuje distribuci ještě prostorová dimenze ve směru proudu toku (v případě vzdouvání vody vlivem přehrad a jezů to může být i proti proudu) (Kuemmerlen et al., 2014; Domisch et al., 2015b).

Pro modelování distribuce sladkovodních druhů je velkým problémem nedostupnost ekologických proměnných adekvátních pro tyto modely, zejména jedná-li se o teplotu a rychlost vody, pH a koncentraci kyslíku (Domínguez-Domínguez et al., 2006). Dalšími významnými nedostatky je využití velkého měřítka, hrubého rozlišení a antropocentrický rozsah modelování, tudíž není možné posoudit významné environmentální prediktory a ekologické procesy detekovatelné v povodí v podrobnějším měřítku. Predikce rozšíření druhů v tocích ve vysokém rozlišení pomáhá zlepšit chápání toho, jak environmentální proměnné ovlivňují rozšíření bezobratlých v rámci povodí (Kuemmerlen et al., 2014).

### **3.1.3 Modelovací algoritmy**

Modelovací techniky mohou podávat různé výsledky i přesto, že jsou modely kalibrovány pomocí stejných proměnných (Araújo, Guisan, 2006). Výběr algoritmu je důležitým krokem modelování, nelze však jednoznačně určit, který přístup je nejvhodnější. Proto záleží na posouzení prediktivního výkonu, na cílech modelování a na dostupnosti a charakteru dat. Rozdíl je také ve výstupech, výsledkem jsou nejčastěji kontinuální predikce, ale mohou mít i binární podobu nebo se do binárního tvaru převádějí. Pro binární predikce je potřeba nastavit prahovou hodnotu (threshold) (Pearson, 2007).

Příklad algoritmů uvádí (Pearson, 2007). Nejčastěji využívané algoritmy jsou GAM – generalizovaný aditivní model (Araújo, Luoto, 2007; Moudrý, Šímová, 2012b), GLM – generalizovaný lineární model, ANN – umělé neuronové sítě, MaxEnt – maximální entropie, GARP – genetický algoritmus (Domínguez-Domínguez et al., 2006) a další (Pearson, 2007; Kuemmerlen et al., 2015).

## **3.2 Data vstupující do modelů**

Distribuční modely vyžadují, jak je v předchozích kapitolách zmíněno, dva typy dat. Jsou jimi údaje o životním prostředí (také označovány jako vysvětlující proměnné, nebo prediktory) a záznamy známého výskytu, případně nevýskytu (také označovány jako data výskytu druhu, vysvětlovaná proměnná nebo závislá proměnná). Oba typy dat mají velká kvantitativní i kvalitativní omezení, a proto je potřeba dbát na správnou interpretaci (Pearson, 2007). Elith et al. (2002) zároveň uvádějí, že je

důležité zaměřit se na časové pořízení dat. Oba typy dat by měly pocházet ze stejného období.

### **3.2.1 Záznamy výskytu druhu**

Data výskytu druhu mohou být pouze prezenční nebo prezenčně-absenční, v obou případech je potřeba zohlednit to v přístupu modelování (Pearson, 2007; Araújo, Peterson, 2012). Pocházet mohou z různých zdrojů. Jednou z možností je osobní sběr dat během terénního šetření výzkumnými pracovníky (jednotlivci či malá skupina). Nebo mohou data pocházet z velkých výzkumů (velkou skupinou výzkumníků), tedy velkých nálezových databází. Zdrojem dat mohou být i muzejní sbírky, při jejichž využití v modelech by mělo být zohledněno, že nebyly za tímto účelem pořízeny a u nichž lokace záznamu výskytu může mít jen popisný charakter. Dále jsou z webových portálů dostupné online zdroje (Pearson, 2007).

Složitou otázku představuje množství záznamů dostatečných pro modelování, té se věnuje Pearson (2007) a hodnotí interpretaci výsledné predikce v závislosti na velikosti souboru záznamů výskytu. Poukazuje na závislost mezi zvoleným modelovacím algoritmem a množstvím záznamů.

V říčních ekosystémech je sběr dat obzvlášť složitou záležitostí, především kvůli vysoké heterogenitě toků a těžké detekovatelnosti většiny druhů. Navíc bývá zatížen zkrácením antropogenních vlivů. Datové sady bývají buď kvalitní a homogenní pro relativně malá měřítka nebo se velké datové sady skládají z různých zdrojů, případně jsou omezena politickou hranicí a postrádají geografickou ucelenost (Domisch et al., 2015b).

### **3.2.2 Environmentální proměnné**

Environmentální proměnné popisují environmentální prostor. Environmentální prostor vhodný pro druh vymezuje základní nika druhu. Hutchinson (1957) definuje základní niku určitého druhu jako soubor podmínek prostředí, ve kterém je druh schopen přežít a setrvat, může být interpretována jako n-dimenzionální prostor, jehož každé místo odpovídá takovým podmínkám životního prostředí, které dovoluje druhu trvale existovat.

Výběr environmentálních proměnných se provádí na základě statistických kritérií, ekologické relevance, odborné znalosti a dostupnosti dat. Zpravidla se používají více jak 4 prediktory a pokud se vyberou jednoduchá a dostupná data, je možné využít



model i pro jiná povodí (Kuemmerlen et al., 2014). Prediktory jsou data buď spojitá, nebo kategorická. Kategorická data je potřeba pro modely upravit nebo zvolit modelovací algoritmus, který dokáže pracovat s kategorickými proměnnými (Pearson, 2007).

Kuemmerlen et al. (2014) ve své studii dokládají, že integrovaný model z více kategorií (nejlépe zahrnout všechny kategorie) podává prokazatelně lepší výkon než modely z jedné kategorie. Zároveň také uvádějí 4 základní kategorie environmentálních dat: bioklimatické, hydrologické, topografické a využití půdy. Sundermann et al. (2013) ovšem poukazují na opomíjený význam chemických proměnných, které mají na sladkovodní druhý přímý ekologický vliv.

### **Bioklimatické a hydrologické proměnné**

Bioklimatické proměnné zahrnují například roční průměrnou teplotu, sezónní průměrné teploty, srážky nejsušších měsíců, sezónní srážky atp. (Kuemmerlen et al., 2015). Největší a zřejmě nejpoužívanější databází těchto dat je WorldClim, kde jsou dostupné vrstvy pro prostředí GIS v rozlišení 1 km, včetně statisticky odvozených vrstev (Moudrý, Šimová, 2013; Domisch et al., 2015a).

Hydrologická data zahrnují například sezónní průtoky, rozsah průtoků na jaře, průměrné roční průtoky, atp. Jsou dostupná od národních hydrologických institucí (Kuemmerlen et al., 2015).

### **Topografické proměnné**

Prediktory topografie zahrnují například nadmořskou výšku, svažitost, akumulaci odtoků, aspekt (Allan et al., 1997; Domínguez-Domínguez et al., 2006). Topografie je důležitou charakteristikou zemského povrchu, která ovlivňuje většinu hledisek bilance vody v povodí, včetně generování odtoku z dílčích povodí, odtokových cest, odtoku ze svahů a rychlosti odtoku (Vaze et al., 2010).

Z výškových digitálních modelů se odvozují charakteristiky vodních toků (Allan et al., 1997; Vaze et al., 2010; Kuemmerlen et al., 2015). Například Vaze et al. (2010) uvádějí, že hydrologické i hydraulické modely jednoznačné prostorové distribuce využívají digitální výškový model pro odvození hloubek ve vodním korytě. Pro zmíněné charakteristiky se velmi často využívají volně dostupná data Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), která se vyznačují hrubším měřítkem (Allan et al., 1997; Moudrý, Šimová, 2013; Domisch et al., 2015a). Díky rozvoji v oblasti výpočetních zařízení, která umí pracovat s velkými datovými soubory, se

stávají snadněji dostupné DEM s vysokým rozlišením. Nové zdroje dat Light Detection and Ranging (LiDAR) znamenají obrovskou příležitost pro modelování (především sladkovodních druhů) a zároveň přinášejí potřebu zkoumat závislost rozlišení DEM v různých aspektech (Deng et al., 2007; Vaze et al., 2010). Podrobněji se daty DEM zabývá kapitola 4.2.

### **Proměnné využití půdy**

Proměnné využití půdy jsou představitelem kategorické proměnné. Vymezují míru rozvoje - přítomnost měst, dopravy a průmyslu a zachycují využití půdy - orná, travní porost, les (Kuemmerlen et al., 2015). Využití půdy má značný ekologický význam především pro suchozemské druhy (Allan et al., 1997; Pearson, 2007; Moudrý, Šímová, 2013).

Goodchild (2011) uvádí, že není vhodné tuto proměnnou využívat pro jemnější rozlišení z povahy dat. Ovšem výsledky studie, kterou uvádějí Sundermann et al. (2013) zdůrazňuje význam využívání krajiny spádové oblasti zájmového toku a kvality vody pro vodní živočichy.

### **Chemické proměnné**

Ač jsou chemické proměnné v modelech použity jen zřídka, mají význam především v ekologii sladkovodních organismů, přímo působí na jejich hojnost a patří mezi nejnvlivnější prediktory (Sundermann et al., 2013). Souvisejí také s využitím půdy, kdy vysoká míra zemědělské činnosti přispívá k větší sedimentaci v tocích (Allan et al., 1997). Některé prediktory vykazují různou míru korelace v závislosti na měřítku, například sklonitost toku a koncentrace kyslíku (Domisch et al., 2015b). Jako nejdůležitější prediktory pro vodní druhy byly vyhodnoceny: množství chloridu, kyslíku a celkový organický uhlík (Sundermann et al., 2013).

### **3.2.3 Neurčitost dat a zdroje chyb**

S přibývajícím dostupností dat je stále více řešena otázka jejich (ne)přesnosti a kritický přístup k proměnným má v tomto ohledu své místo. Jeden ze zdrojů nejistot představuje zjednodušení reálného světa v rámci reprezentace v GIS (Moudrý, Šímová, 2012a). Vědecké publikace se často zabývají ekologickými aspekty, environmentálními daty nebo vztahy mezi proměnnými, ovšem ani data o výskytu druhu nejsou bezchybná (Pearson, 2007; Goodchild, 2011; Moudrý, Šímová, 2012b; Domisch et al., 2015a)

S nárůstem podrobnosti dat se studie stále častěji zaměřují na prostorové nepřesnosti a jejich vliv na modely druhové distribuce. Další zkreslení predikce způsobuje prostorová autokorelace environmentálních proměnných (Moudrý, Šímová, 2012a). Významnými nedostatky tohoto typu dat pro sladkovodní modely je omezenost politickou hranicí, dostupnost jen pro jednotlivá povodí a především často postrádají konektivitu směrem po proudu toku (Domisch et al., 2015a).

Pokud ekologický proces probíhá v menším a podrobnějším měřítku než je prostorové rozlišení dat, pak výsledky analýz a modelování budou jednoznačně zavádějící. Z toho vyplývá, že k prostorovému rozlišení dat je potřeba vzít v úvahu prostorové rozlišení procesů i přes to, že některé se mohou tvářit jako neovlivněné měřítkem. Také není možné předpokládat, že vztahy fungující v určitém měřítku, budou identické jako v jiném měřítku.

Chyby dat o výskytu druhu mohou vzniknout v důsledku nesprávné identifikace druhu nebo nepřesným prostorovým označením vzorku. Někdy může být tendence sbírat vzorky na lépe dostupných místech (Pearson, 2007; Moudrý, Šímová, 2012b). Pokud jsou v modelech využity absenční záznamy, mohou být nespolehlivé. Zejména pokud se druh na daném místě nevyskytuje (např. z důvodu geografické bariéry) a podmínky prostředí jsou vhodné pro výskyt. V takovém případě bude model vyhodnocovat záznam nevýskytu jako nevhodné environmentální podmínky. Nebo pokud byl druh přítomen a nebyl detekován. Díky těmto faktům by mělo být použití absenčních záznamů opatrné (Pearson, 2007).

### **3.3 Hodnocení modelů**

Posouzení výkonu modelu je důležitým krokem ve vývoji modelu a nelze jej opomenout. Stejně jako v případě algoritmu existuje mnoho metod a není stanoveno, která je více vhodná nebo přesnější. Záleží na cíli modelování, dostupnosti dat a použitém způsobu modelování (Pearson, 2007). Moudrý (2015) také upozorňuje, že posouzení kvality modelu by mělo probíhat s ohledem na charakteristiky vstupních dat.

Pro určení výkonu modelu se data rozdělují na kalibrační a validační, v ideálním případě jsou ta validační na kalibračních nezávislá (např. z jiného období, z jiného území nebo pořízena jiným výzkumníkem). Takováto validační data ovšem nejsou zdaleka vždy k dispozici, proto se dostupný balík dat rozděluje. Což je možno učinit několika způsoby, s přihlédnutím k množství záznamů, např.: křížová validace, „bootstrapping“, „jack-knife“ (Pearson, 2007; Hendl, 2015).

Existují dva přístupy hodnocení modelů. Nejčastějším výstupem modelů jsou mapy ze spojitých dat, které je možné hodnotit pomocí takzvaných treshold-independent indexů. Pro hodnocení spolehlivosti těchto modelů se využívá celá řada indexů a metrik. Nejčastěji se můžeme setkat s hodnocením pomocí AUC (area under the ROC curve), která je odvozená od křivky ROC (receiver operating characteristic curve). Křivka ROC vychází ze vztahu sensitivity a specificity (Pearson, 2007; Liu et al., 2009, 2011). AUC vyjadřuje plochu pod křivkou ROC a model je výkonnější, čím více se AUC blíží hodnotě 1 (Domínguez-Domínguez et al., 2006; Pearson, 2007; Moudrý, Šímová, 2012b, 2013).

Druhým přístupem je hodnocení podle takzvaných treshold-dependent indexů, které spočívá v hodnocení binárních predikce. Je možné mapy spojitých dat převést do binární podoby, k tomu se stanoví diskriminační hladina („threshold“). Metrik pro toto hodnocení existuje opět celá řada. Například sensitivity (pravděpodobnost správné predikce výskytu druhu) a specificity (pravděpodobnost správné predikce absence druhu) (Liu et al., 2009, 2011; Moudrý, Šímová, 2012b). Specificita se jako samostatná testovací statistika příliš nevyužívá, protože se zaměřuje na absenční záznamy, nicméně je důležitá pro stanovení prahových hodnot ROC analýzy (Domínguez-Domínguez et al., 2006; Pearson, 2007).

### **3.4 Vliv měřítka na modely distribuce**

V prostředí GIS rozlišujeme dva významy měřítka ve smyslu rozsahu a rozlišení (Pearson, 2007; Goodchild, 2011). Při praktickém využití jej ovlivňuje především dostupná kapacita na objem dat a množství finančních prostředků na pořízení (Goodchild, 2011). Obecně platí, že rozlišení by mělo být relevantní pro uvažovaný druh (Pearson, 2007).

Pro sladkovodní ekosystémy je důležité zahrnout jemné prostorové rozlišení pro spádové povodí, a tím je možno dosáhnout přesnější predikce (Kuemmerlen et al., 2014). K této otázce se komplexněji vyjadřuje Domisch et al. (2015b), kteří uvádějí přehlednou tabulku se zahrnutím ekologického měřítka (globální, regionální, lokální, ...), k tomu vhodného měřítka toku (globální, povodí, úsek, ...), navrhuje prostorové rozlišení vstupních dat (>10 km, 1-5 km, 1-10 km, ...), navrhuje časové a taxonomické měřítka vstupních dat a nejdůležitější faktory, na kterých závisí distribuce sladkovodních druhů. Z tohoto přehledu vyplývá, že s jemnějším měřítkem narůstá vliv topografie a odvozených charakteristik (např. sluneční záření) a také se zvyšuje počet významných prediktorů.

Vaze et al. (2010) provedli analýzu, ve které se podrobně zabývají přesností a rozlišením vstupního DEM. Poukazují na to, že tyto parametry mají vážné důsledky na hodnoty hydrologických prostorových indexů odvozených z DEM. V různé míře má na odvozené charakteristiky z DEM včetně sklonitosti terénu (Goodchild, 2011) vliv nejen zvolené měřítko, ale také typ krajiny a heterogenita terénu (Deng et al., 2007). Při porovnání DEM pořízeného v hrubším rozlišení a detailnějšího DEM převzorkovaným do hrubšího rozlišení vychází menší ztráta detailu u převzorkovaného DEM do hrubšího rozlišení (Vaze et al., 2010). V jemném rozlišení se setkáváme s nedostatkem kontinuálních abiotických i biotických prediktorů, což představuje značný problém pro modelování (Domisch et al., 2015b).

## 4 METODIKA

Data byla zpracována v systému ArcGIS for Desktop ve verzi 10.4.1. Potřebnou licenci poskytla Česká zemědělská univerzita v Praze. Při zpracování dat LiDAR jsem využila sadu nástrojů LAStools (Rapidlasso, 2014). Pro model druhové distribuce a krabicové grafy byl použit software R. Některé výpočty a grafy jsem zpracovala v MS Excel 2010.

V dalších kapitolách uvádím v závorkách *kurzívou* nástroje ArcGIS, které jsem v daném kroku uplatnila.

### 4.1 Charakteristika zájmového vodního toku

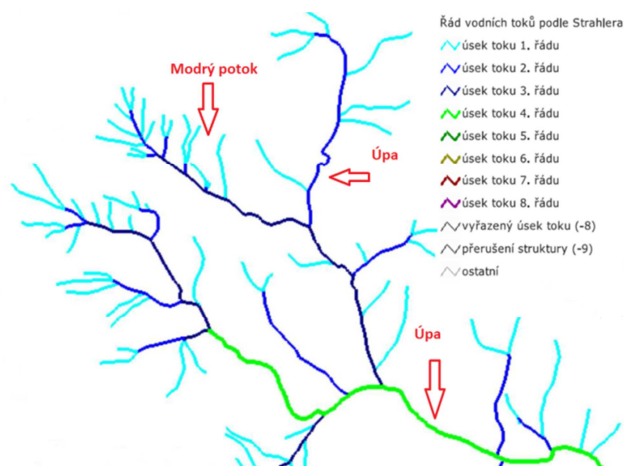
Hlavním rysem vhodného toku pro analýzy je významné klesání nadmořské výšky na poměrně krátké délce. Pro konkrétní volbu je důležitá diverzita krajinného pokryvu v okolí toku a typ koryta. Jako vhodný se zdá být Modrý potok, jehož prameny stékají z příkrých svahů Luční a Studniční hory do Modrého dolu v Krkonoších. Dále vtéká do jižní části Obřího dolu, kde se vlévá do Úpy a pokračuje do Pece pod Sněžkou.

#### 4.1.1 Základní údaje

Modrý potok pramení ve výšce zhruba 1408 m n. m. Má mnoho pramenných ramen, které se vějířovitě sbíhají a do Modrého potoka vtékají v krátkém úseku. V těchto místech se také nachází Mechový a Modrodolský vodopád. Délka toku je necelé 3 km a do Úpy se vlévá ve výšce zhruba 892 m n. m.

Úpa pramení mezi Luční boudou a Sněžkou na Úpském rašeliništi. Před soutokem s Modrým potokem se do ní vlévá Sněžná strouha, Rudný potok, Studniční potok a několik bezejmenných toků. Na přítocích se vyskytuje několik vodopádů – Úpičky, Lavinový vodopád, Vodopády Rudného potoka a na samotné Úpě najdeme Horní Úpský vodopád a Dolní Úpský vodopád. Za soutokem Úpy a Modrého potoka, ještě před Pecí pod Sněžkou přijímá Růžový potok a v Peci Zelený potok. Další přítoky neuvádím, vlévají se až za zájmovou částí toku, na kterou nemají vliv. Celková hierarchie toků s přítoky je uvedena na obrázku č. 1, klasifikace dle Strahlera.

**Obr. č. 1: Řád vodních toků podle Strahlera**



Zdroj: HEIS VÚV, 2017

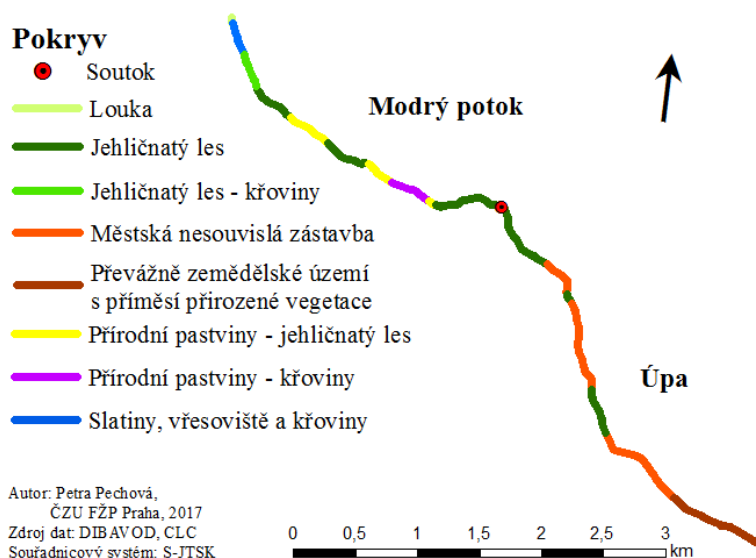
Rozbor krajinného pokryvu v okolí vodních toků přehledně uvádí tabulka č. 1. Zařazení části toku do příslušné kategorie je podle CORINE Land Cover 2012 (GIS Service 2). Pokud je mezi kategoriemi pomlčka, tok teče na hranici kategorií. V tabulce je uvedeno, kolika úseky danou kategorií protéká a v jaké celkové délce.

**Tab. č. 1: Krajinný pokryv v okolí vodních toků**

Pokryv	Počet úseků	Délka toku (m)
Jehličnatý les - křoviny	1	271
Jehličnatý les	5	2 429
Louka	1	50
Městská nesouvislá zástavba	3	1 848
Převážně zemědělské území s příměsí přirozené vegetace	1	784
Přírodní pastviny - hranice jehličnatého lesa	3	672
Přírodní pastviny - křoviny	1	341
Slatiny, vřesoviště a křoviny	1	270

Obrázek č. 2 graficky znázorňuje tabulku č. 1. Na hranici dvou kategorií teče tok v délce 1 284 metrů z celkových 6 664 metrů.

**Obr. č. 2: Krajinný pokryv v okolí vodních toků**



#### 4.1.2 Přírodní poměry

Teplota je velmi proměnlivá vlivem teplotního gradientu. Průměrná roční teplota v Peci pod Sněžkou je 4,4 °C, nejtepleji je v červenci (průměrně 13,6 °C) a nejchladněji v lednu (průměrně -4,3 °C).

Na hřebenech Krkonoš ročně spadne 1 200 mm – 1 400 mm srážek. Roční srážkový úhrn pro Pec pod Sněžkou činí 1 405 mm, přičemž nejvyšší úhrny můžeme zaznamenat v červenci a srpnu (průměrně 125 mm za měsíc) a nejméně v dubnu (průměrně 66 mm za měsíc).

Pravidelně od listopadu se vytváří souvislá sněhová pokrývka 100 – 300 mm. V podhůří leží sníh 70 – 120 dní a ve vrcholových polohách i více než 180 dní. Vlivem větrného proudění a terénních dispozic je kvalita i kvantita sněhu velmi nerovnoměrná. Největší sněhové převisy vznikají na hraně Obřího a Labského dolu, největší mocnost sněhové akumulace byla naměřena na lavinovém poli v Modrém dole, a to 15 metrů (ČHMÚ, 2017; KRNAP, 2017).

#### 4.1.3 Územní ochrana

Modrý potok pramení v I. zóně Krkonošského národního parku. V jihovýchodní části Modrého dolu přechází do II. zóny a v Obřím dole teče na pomezí těchto zón. Od soutoku vede Úpa asi 130 metrů v II. zóně národního parku do malé vodní nádrže a pokračuje směrem do Pece pod Sněžkou a dále za Pec v ochranném pásmu Krkonošského národního parku (KRNAP).



Analyzované části toků spadají převážnou většinou do evropské úrovně ochrany. Jsou součástí evropsky významných lokalit i ptačích oblastí. Na celosvětové úrovni pak patří do biosférických rezervací (AOPK ČR, 2016).

## 4.2 Charakteristika dat

### 4.2.1 DEM LiDAR

Data byla pořízena v rámci projektu Snímkování a letecké laserové skenování Krkonošského národního parku společností GEODIS, s. r. o. a financována Evropským fondem pro regionální rozvoj. Projekt se skládá ze čtyř navazujících částí realizovaných ve vegetačním období 2012 a 2013. Data byla pořízena laserovým skenerem RIEGL LMS-Q680i s využitím GPS (Global Positioning System) (GEODIS, 2013).

Byla naskenována oblast o rozloze 550 km<sup>2</sup> v letové výšce 700 m pod skenovacím úhlem  $\pm 30^\circ$  a s překrytím skenovacích pásů 20 %. Hustota skenování je minimálně 5 bodů/m<sup>2</sup>, v pásech překrytí je hustota výrazně vyšší.

Skenovalo se v rovnoběžných liniích a kolmo na směr letu v 553 letových řadách. Přesnost skeneru při měření vzdáleností je 20 mm s kompletním záznamem informace o odražené světelné vlně (full-waveform). Vychylování paprsku v příčném směru zajišťuje rotující zrcadlo (Riegl, 2012; GEODIS, 2013).

Data byla poskytnuta Správou KRNP a obdržela jsem je v podobě mračna bodů ve formátu \*.las. Ke kategorizaci bodů jsem využila toolbox LAStools, který dokáže velký objem dat zpracovat velmi efektivně. Nejprve jsem mračno rozdělila na body (*lasground*), které reprezentují terén (třída 2) a ostatní neklasifikované body (třída 0). Pro neklasifikované body jsem stanovila výšku nad terénem (*lasheight*). Následně jsem kategorizovala (*lasclassify*) budovy (třída 6) a vysokou vegetaci (třída 5). Další zpracování provedla třetí osoba. Bylo potřeba klasifikovat dráty nadzemního vedení (třída 14) a sloupy nadzemního vedení (třída 15). V další fázi byly klasifikovány výškové prvky (třída 19) jako jsou vysílače, komíny a některé atypické výškové stavby (třída 6). Následně byla data rozdělena (*lastile*) na dlaždice 80 x 80 m s okolím (buffrem) 10 m. V dalším kroku byla odstraněna chybná měření (*lasnoise*) (Michal Fogl, 2017, in verb.).

Z klasifikovaných bodů mračna byl vytvořen (*blast2dem*) digitální model terénu. Data byla vyexportována do formátu \*.asc pro každou dlaždici s atributem pro

odstranění okolí (bufferu). Dále byla spojena do výsledného rastru (*gdal\_merge*). Místa s nulovou výškou byla nahrazena hodnotou *nodata* (*set null*). V konečné fázi byla vyplněna místa s absencí dat (*gdal\_fillnodata*) (Michal Fogl, 2017, in verb.). Výsledný rastr má rozlišení 1 metr a souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK).

#### **4.2.2 DMR 5G**

Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G) představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru. Výšky jsou ve formě diskretních bodů v nepravidelné trojúhelníkové síti (TIN) bodů o souřadnicích X, Y, H kde H reprezentuje nadmořskou výšku ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání (Bpv) s úplnou střední chybou výšky 0,18 metrů v odkrytém terénu a 0,3 m v zalesněném terénu. DMR 5G vznikl z dat pořízených metodou leteckého laserového skenování výškopisu území České republiky v letech 2009 až 2013 (ČÚZK, 2016b).

Skenování bylo realizováno s využitím laserového skeneru RIEGL LMS-Q680 s příslušenstvím pro určování polohy skeneru GPS a IMU (Intertial Measurement Unit). Průměrná výška skenování je 1 200 – 1 400 m o převážné šířce 10 kilometrů (ČÚZK, 2016).

Vzorek DMR 5G pro zájmové území jsem získala v prostředí ArcMap připojením ArcGIS Serveru (ČÚZK, 2016a; GIS Service 1), rastr 3D/dmr5g\_sjtsk (*Extract by mask*). Službu poskytuje Český úřad zeměměřický a katastrální (ČÚZK). Rastr má rozlišení 2 metry a souřadnicový systém S-JTSK Křovák East North.

#### **4.2.3 SRTM**

Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) je americký projekt vedený organizacemi NASA (Národní úřad pro letectví a kosmonautiku) a NGA (Národní agentura pro geoprostorové informace), který se uskutečnil na palubě raketoplánu Endeavour 11. – 22. února 2000 (s přispěním německé a italské kosmické agentury). Cílem bylo vytvořit první digitální model terénu s vysokým prostorovým rozlišením a výškovou přesností v globálním měřítku (USGS, 2015a; Gisat, 2017).

Během mise byla pořízena interferometrická radarová data prakticky z území celého světa, což bylo možné díky frekvencím umožňujícím pořízení dat bez ohledu na denní dobu a meteorologické podmínky. Zachycené území je v rozmezí 60° severní

šířky a 56° jižní šířky, zahrnuje tedy 80 % celkového zemského povrchu. Snímací soustava radarů se skládá ze dvou bočních nástrojů, které získávají údaje kontinuálních pásů. Pásky jsou v rozmezí úhlu od 30° do 58° (orientace nadir) od raketoplánu, zaznamenávány jsou z výšky přibližně 233 kilometrů a jsou tedy asi 225 kilometrů široké. Bylo pořízeno asi 1 000 pásů, jejichž délka činí od několika set do několika tisíc kilometrů. Snímání proběhlo téměř bezchybně a 99,96 % cíleného povrchu bylo zachyceno alespoň jednou, 94,59 % alespoň dvakrát a asi 50 % třikrát nebo vícekrát. Vícenásobné nasnímání terénu (z různých úhlů) je důležité proto, aby obraz vyplnil prostor ve stínu z odrazu radarového signálu od terénu (USGS, 2015b).

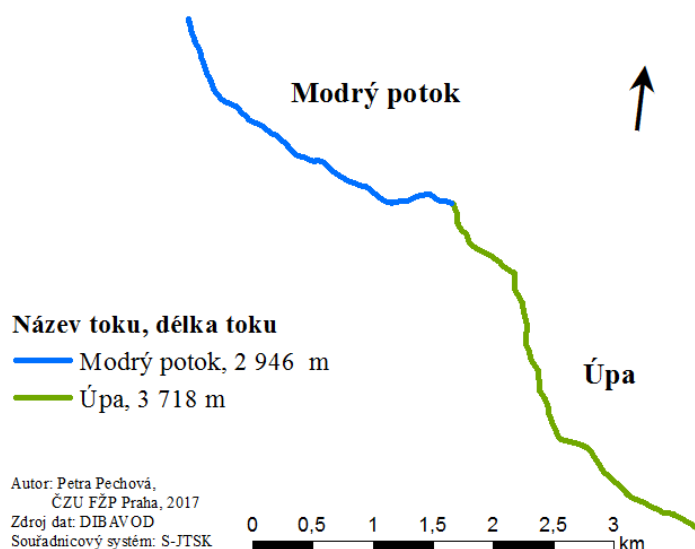
DEM SRTM je k dispozici v rastrových dlaždicích o velikosti 1° z. d. x 1° z. š. (což na rovníku odpovídá přibližně území 111,3 km x 111,3 km). Rozlišení rastru je jedna oblouková vteřina u rovníku, to odpovídá přibližně 30 metrům nebo tři obloukové vteřiny, což je asi 90 metrů (USGS, 2015a; USGS, 2015b). Dostupný je v souřadnicovém systému WGS84 a ve formátu \*hgt (USGS, 2016).

#### **4.2.4 Vodní tok**

Pro analýzy dat je zvolen Modrý potok a část řeky Úpy. Toky v liniové podobě jsem získala z Digitální báze vodohospodářských dat (DIBAVOD), kde jsou volně dostupné. Vrstva je primárně vytvořena z dat základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED). V kategorii základních jevů povrchových a podzemních vod se nachází objekt vodní tok (tokový model s označením A01), který vznikl generováním z vrstvy jemných úseků. Jedná se o model říční sítě, vektorově orientovaný po směru proudění a definovaný počátečním (pramen toku) a koncovým (ústí) bodem. Vodní tok je vodní útvar, pro který je charakteristický stálý nebo dočasný pohyb vody v korytě ve směru celkového sklonu a který je napájen z vlastního povodí nebo z jiného útvaru (DIBAVOD, 2006).

Shapefile (\*.shp) je liniová vrstva s poslední aktualizací k 6. 4. 2006, ze které jsem vyjmula toky pro zájmové území (*clip*), viz obrázek č. 3. Délky toků pro další zpracování jsou: Modrý p. – 2 946,15 metrů a Úpa – 3 717,54 metrů.

**Obr. č. 3: Vodní toky využívané v analýzách**



### **4.3 Analýza digitálních modelů terénu**

V uvedených postupech jsem pracovala v souřadnicovém systému S-JTSK. Pro využití SRTM bylo potřeba transformovat souřadnicový systém z WGS 84 do S-JTSK. Aby se zabránilo artefaktům v odvozené charakteristice (svažitost terénu) byla provedena bilineární interpolace.

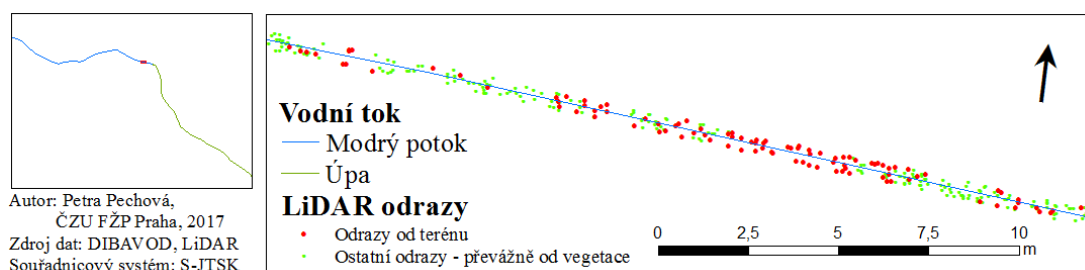
#### **4.3.1 Vodní tok ve výškových modelech terénu**

Úkolem je zobrazit terén v místě vodních toků tak, jak jej interpretují modely terénu. Zpracování je rozděleno do dvou částí. Nejprve jsem se zaměřila na celé zájmové území a porovnála DEM LiDAR, DMR 5G a SRTM. V druhé části mě zajímalo podrobnější rozlišení, pro vizualizaci jsem zvolila odrazy od terénu z leteckého laserového skenování, DEM LiDAR a DMR 5G.

Pro první část úkolu jsem upravila vodní toky do bodové vrstvy (*generate points along lines*), vzdálenost bodů jsem vzhledem k rozlišení rastrů zvolila 2 metry. Vodní tok je vektor, proto se body vygenerovaly popořadě od pramene dál po toku, pro pozdější zachování pořadí jsem bodům přiřadila identifikační číslo (*field calculator*). V dalším kroku jsem získala pro každý bod výšku z modelu terénu (*extract values to points*) a atributy jsem vyexportovala do tabulky (\*.dbf). Takto jsem připravila data z DEM LiDAR, DMR 5G a SRTM. Další zpracování proběhlo v MS Excel, kde jsem data uspořádala pro tvorbu grafů, které reprezentuje průběh vodního toku.

V druhé části úkolu bylo zásadním problémem zpracování odrazů od terénu do bodové vrstvy vhodné k interpretaci v grafu. Vytvořila jsem okolí vodního toku v celkové šířce 0,5 metru (*buffer*). Šířka je zvolena tak, aby zahrnula optimální množství LiDAR odrazů a zároveň adekvátně zachytila střed koryta vodního toku v celé délce. Vybrala jsem body spadající jen do tohoto okolí toku (*lasclip*), situaci znázorňuje obrázek č. 4. Vyjmula jsem odrazy od terénu (*las2las filter*) a převedla je do formátu \*txt (*las2txt*) se zachováním informace o souřadnicích XYZ. V tomto formátu jsem všechny soubory spojila do jednoho (*merge*) s výsledným souborem ve formátu \*dbf.

**Obr. č. 4: LiDAR odrazy v okolí vodního toku**

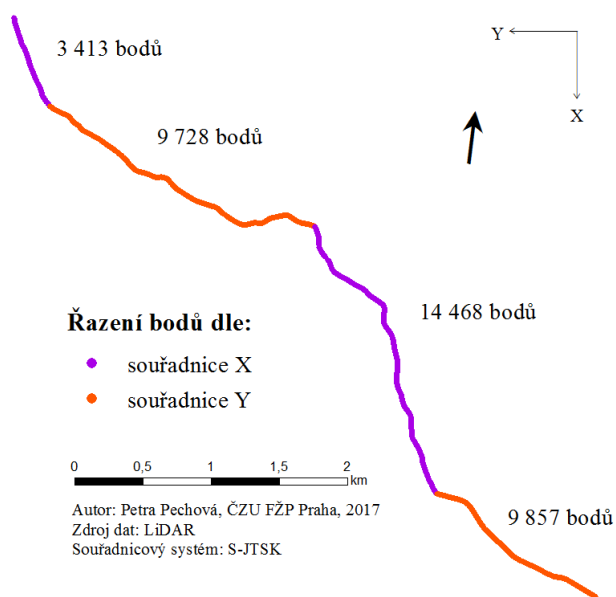


Z tabulky souřadnic jsem vytvořila bodovou vrstvu, nastavila jsem souřadnice a souřadnicový systém. Nová bodová vrstva reprezentuje odrazy od terénu, je ve formátu \*shp s atributy souřadnic XYZ. Odstranila jsem duplicitní záznamy (*delete identical*). Dále jsem pracovala s tímto shapefilem (37 466 bodů).

Pro zobrazení bodů v grafu je potřeba body seřadit do jedné linie a určit jejich vzdálenost od pramene. Přiřadila (*snap*) jsem body na linii toku a atributovou tabulku doplnila o údaje nových souřadnic XY (*calculate geometry*). Nástroj pro seřazení bodů (*sort*) není možné použít pro řazení od pramene po směru toku, protože nástroj dokáže pracovat jen s atributy dané vrstvy. Vyzkoušela jsem několik možností transformace této bodové vrstvy s využitím nástrojů ArcGIS, včetně vytvoření linie z bodů a následné dělení. S neseřazenými body se žádná nevypřádala. Dále jsem tedy zvolila způsob aplikovatelný na relativně malé vodní toky s vhodným průběhem vzhledem k osám souřadnicového systému. Body jsem rozdělila do 2 skupin, manuálním výběrem jsem jim přiřadila atribut X nebo Y (*field calculator*) a to tak, aby bylo možné je řadit buď podle souřadnice X nebo podle souřadnice Y, přehledně na obrázku č. 5. Atributovou tabulku jsem vyexportovala a dál jsem pracovala v MS Excel. Pomocí datových filtrů jsem body seřadila dle příslušné souřadnice a přiřadila jim nové identifikační číslo. Vzdálenost bodů od počátku toku jsem spočítala ze souřadnic Pythagorovou větou. Tímto krokem mám vše potřebné pro

vynesení LiDAR odrazů od terénu do grafu a pro porovnání s DEM LiDAR a DMR 5G.

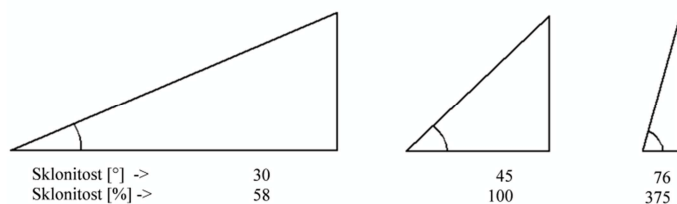
**Obr. č. 5: Řazení odrazů od terénu dle souřadnic**



#### 4.3.2 Vodní tok v modelech svažitosti terénu

Účelem je vizualizovat a porovnat svažitost toku tak, jak ji vykazují výškové modely terénu v různém rozlišení. Obrázek č. 6 představuje příklad sklonu terénu. Z DEM LiDAR, DMR 5G i SRTM jsem vytvořila rastr svažitosti (*slope*) v procentech. Pro získání hodnot svažitosti toku z rastrů (*extract values to points*) jsem využila bodovou vrstvu z první části úkolu kapitoly 4.3.1 se vzdáleností bodů 2 m po toku.

**Obr. č. 6: Sklon terénu**



Pro hodnocení rozdílu sklonitostí jsem využila rastry se stejným rozlišením. DEM LiDAR jsem převzorkovala (*resample*) na rozlišení DMR 5G, vznikl rastr sklonitosti (*slope*) s názvem LiDAR (2 m). Následně jsem DEM LiDAR převzorkovala (*resample*) na rozlišení SRTM, vytvořený (*slope*) rastr se jmenuje LiDAR (SRTM). Stejně jako v kapitole 4.3.1 jsem získala hodnoty svažitosti toku. V každém bodě vodního toku jsem odečetla hodnoty svažitosti z rastrů se stejným rozlišením.

Dále jsem se zaměřila na hodnotu průměrné svažitosti toku. Zaznamenala jsem hodnoty pro celkový zájmový tok od pramene Modrého potoka až po Úpy za Pecí pod Sněžkou a také pro jednotlivé toky (Modrý potok a úsek Úpy od soutoku s Modrým potokem až za Pec pod Sněžkou). Ze sklonitostních rastrů jsem vybrala buňky (*extract by mask*) jimiž tok prochází. Následně jsem pro celkový zájmový tok, Modrý potok a úsek Úpy vypočetala (*zonal statistics*) průměrnou hodnotu svažitosti.

### 4.3.3 Evaluace modelů terénu

Pro porovnání DEM jsem zvolila střední kvadratickou chybu (RMSE):

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z_i - \hat{z}_i)^2}$$

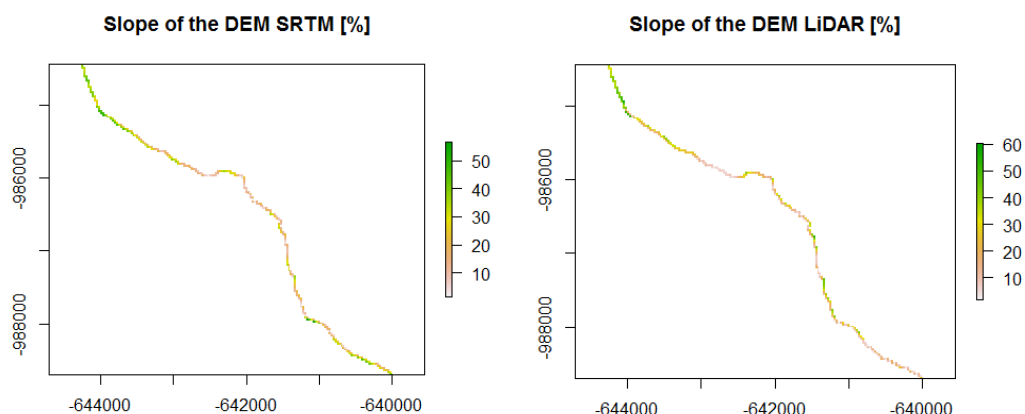
Za nejpřesnější a tedy referenční je považován DEM LiDAR, který jsem pro výpočet RMSE převzorkovala (*resample*) na rozlišení 2 metry a na rozlišení SRTM. Vybrala jsem buňky DEM (*extract by mask*) jimiž prochází vodní tok. Středů buněk jsem převedla na bodovou vrstvu (*raster to point*), každý bod byl specifikován identifikačním číslem a nadmořskou výškou. Tím jsem získala 4 342 bodů pro výpočet RMSE DEM LiDAR a DMR 5G, pro výpočet RMSE DEM LiDAR a SRTM 312 bodů. Každá buňka rastru, kterou vodní tok prochází, je do výpočtu zahrnuta právě jednou.

Modely svažitosti terénu jsem hodnotila na základě rozptýlenosti hodnot sklonu buňky. Stejným postupem jako pro RMSE jsem připravila rastry svažitosti LiDAR, DMR 5G, SRTM a LiDAR v rozlišení SRTM. Pro LiDAR (rozlišení 1 m) bylo zahrnuto 8 695 bodů a pro DMR 5G, SRTM a LiDAR (rozlišení SRTM) to byl stejný počet jako pro RMSE.

## 4.4 Model druhové distribuce

Pro posouzení vlivu vertikální chyby DEM na svažitost terénu v modelech distribuce sladkovodních druhů živočichů jsem vytvořila model distribuce virtuálního druhu. Jediným vstupním prediktorem je rastr svažitosti (obrázek č. 7). Pro samotné posouzení jsem vybrala metriky AUC, specificitu a sensitivitu. Model jsem zpracovala v programovacím jazyce R, jehož výstup uvádím v příloze č. 1.

**Obr. č. 7: Svažítost koryta toku v SDM**



#### **4.4.1 Model virtuálního druhu**

Model jsem vytvořila dle Leroy et al., (2015). Pro modelování virtuálního druhu jsem zvolila svažítost LiDAR v rozlišení SRTM, protože vychází z podrobnějších a přesnějších dat. Vstupním rastrem jsou pixely reprezentující koryto vodního toku, které jsem vytvořila pro průměrnou svažítost toku (více v kapitole 4.3.2).

Vhodnou svažítost terénu pro výskyt virtuálního druhu jsem stanovila na hodnotu 22 %, což je přibližně průměrný sklon toků v hrubším rozlišení (viz kapitola 5.2.2). Odezva výskytu druhu na vhodnou svažítost je logistickou funkcí:

$$F(\text{svažítost}) = \frac{1}{1 + e^{(\text{svažítost} - \beta)\alpha}}$$

Výstupem je vhodnost environmentálního prostředí, tedy svažítosti, jako pravděpodobnost výskytu v procentech. Tuto pravděpodobnost jsem proměnila na stanoviště vhodná a nevhodná pro výskyt druhu. Pro konverzi jsem využila logistickou funkci s inflexním bodem 0,75 a sklonem křivky -0,5.

Vytvořila jsem vzorek 50 pozorování druhu s výsledkem výskyt či nevýskyt. Tyto záznamy jsem vyexportovala do bodové vrstvy a pro každý záznam pozorování jsem zaznamenala hodnotu svažítosti příslušného pixelu (*extract values to points*) a to pro LiDAR i SRTM.

#### **4.4.2 Evaluace svažítosti v SDM**

Vstupním prediktorem do SDM LiDAR je svažítost LiDAR v rozlišení SRTM. Vstupním prediktorem do SDM SRTM je svažítost SRTM.

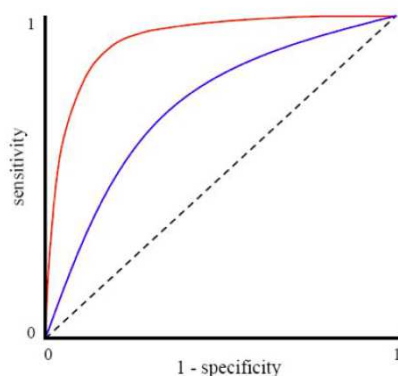
Rozdělení souboru pozorování druhu na trénovací a testovací set dat jsem provedla křížovou validací. Soubor pozorování druhu jsem rozdělila do 5 skupin po



10 pozorováních. Na 4 skupinách se model trénuje a na 1 se testuje. Modelovacím algoritmem je zobecněný lineární model. Průběh algoritmu jsem opakovala desetkrát pro každý model.

Pro hodnocení jsem vybrala metriky AUC, specificitu a sensitivitu. AUC vyjadřuje plochu pod křivkou ROC, která je vztahem mezi podílem správně předpovídaných záznamů pozorovaného výskytu (sensitivitou) a podílem nesprávně předpovídaných záznamů pozorovaného nevýskytu ( $1 - \text{specificita}$ ). Minimální hodnota, které může nabývat je 0,5, což vyjadřuje náhodnou prediktivní schopnost modelu (na obr. č. 8 je znázorněna přerušovaně). Čím vyšší je hodnota AUC, tím je model výkonnější a predikce je lepší než náhodná. Červená křivka na obrázku č. 8 znázorňuje lepší výkon modelu (vyšší hodnotu AUC) než modrá křivka (nižší hodnotu AUC). Maximální hodnota, které může dosáhnout je 1. AUC je tedy pravděpodobnost, že model správně rozlišuje mezi záznamy výskytu a nevýskytu, pokud je záznam vybrán náhodně z celé množiny výskytů a nevýskytů (Pearson, 2007).

**Obr. č. 8: Příklad ROC křivky**



Zdroj: Pearson, 2007

Samotná sensitivita je pravděpodobnost, že model správně předpovídá místa výskytu druhu. Specificita je pravděpodobnost, že model správně předpovídá místa nevýskytu druhu (Liu et al., 2009, 2011).

Zda je pro model distribuce vhodnější svažitost SRTM nebo svažitost LiDAR (v rozlišení SRTM) jsem posoudila metrikami AUC, specificitou a sensitivitou. Vytvořila jsem 10 modelů, jejichž výsledky jsem zprůměrovala aritmetickým průměrem.

## 5 VÝSLEDKY

Tato kapitola zahrnuje výsledky analýzy výškových modelů terénu (kapitola 5.1), odvozené charakteristiky - svažitosti terénu (kapitola 5.2) a modelu druhové distribuce (kapitola 5.3). Tabulky a grafy byly zpracovány v MS Excel 2010. Kromě krabicového jsou grafy bodového typu.

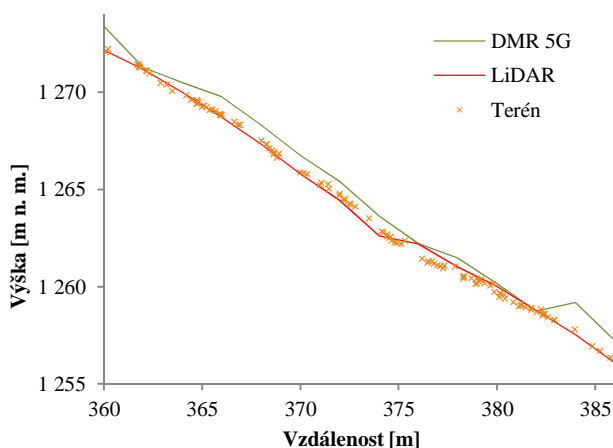
### 5.1 Vodní tok ve výškových modelech terénu

Zájmový tok je reprezentován DEM LiDAR, DMR 5G a SRTM. Výškový průběh vodního toku je v měřítku celého zájmového toku téměř totožný v DEM LiDAR a DMR 5G. Významný rozdíl je evidentní u SRTM, podrobnější zobrazení lépe prezentuje rozdíl výškového průběhu a vliv hrubého rozlišení SRTM. Vizualizace zájmového vodního toku je v příloze č. 2.

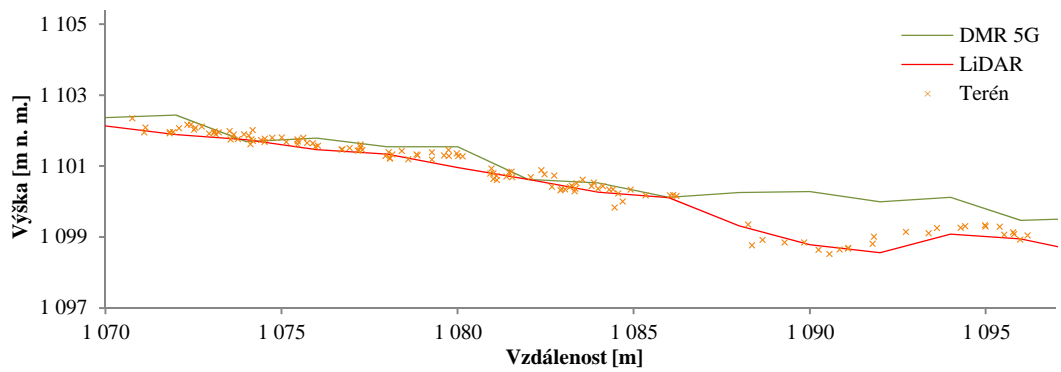
Na obrázku č. 9 až č. 14 je ve velmi podrobném měřítku zachyceno 6 vybraných úseků koryta toku v DMR 5G a DEM LiDAR. „Terén“ jsou data LiDAR v podobě mračna bodů (odrazů od terénu) a jsou považována za nejpřesnější detekci terénu.

Střední kvadratická chyba vypočtena pro DEM LiDAR a DMR 5G v rozlišení 2 metry je rovna 0,64 metru. Výpočet RMSE pro DEM LiDAR a SRTM v rozlišení SRTM je roven 14,77 metrů.

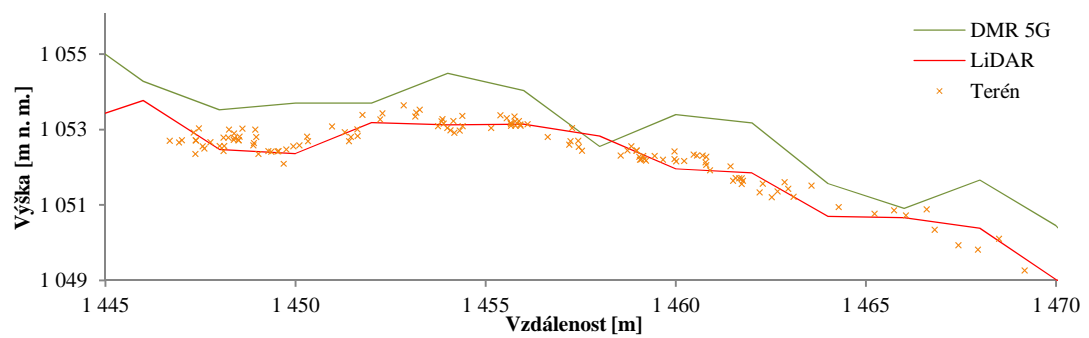
**Obr. č. 9: Pramen Modrého potoka na strmém svahu lavinového pole a Modré stráně nad Modrým dolem**



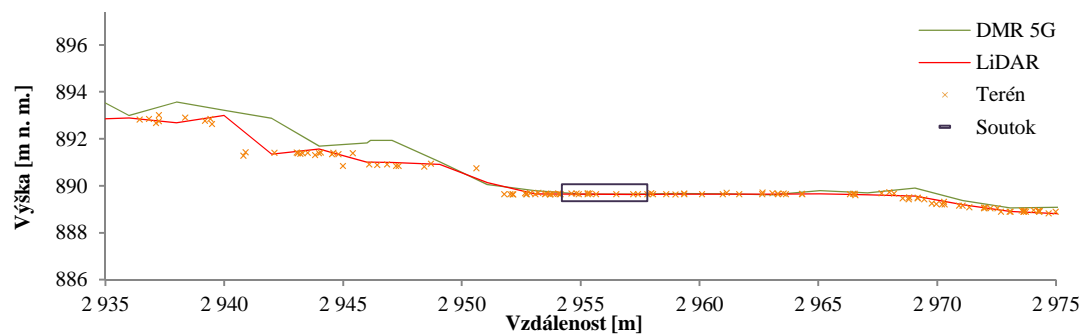
**Obr. č. 10: Modrý potok pod Modrou strání**



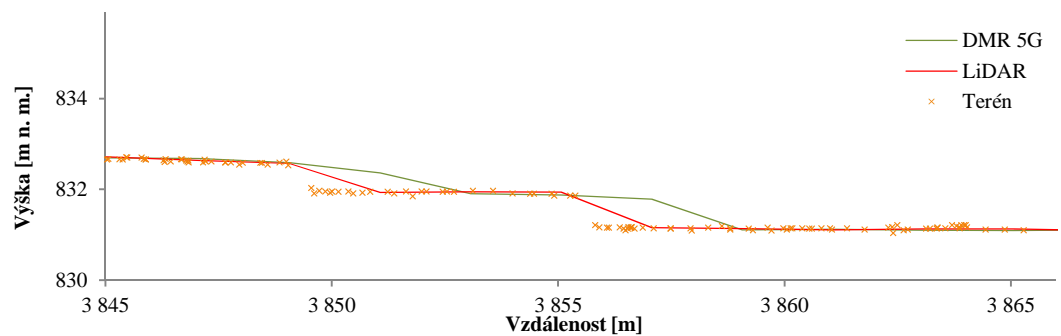
**Obr. č. 11: Modrý potok přibližně ve středu Modrého dolu**



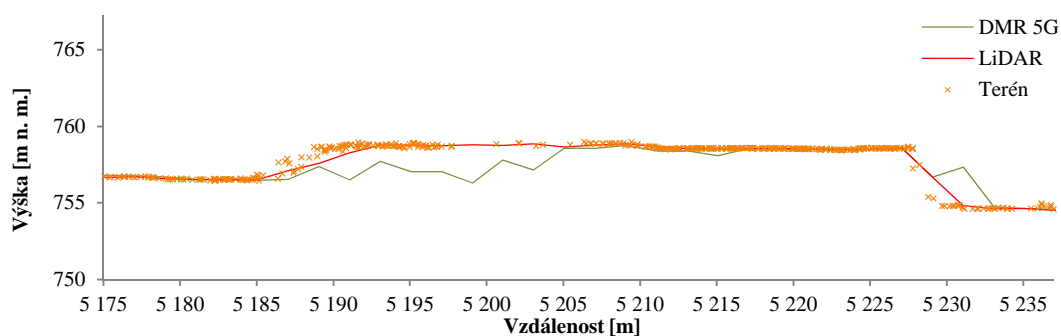
**Obr. č. 12: Soutok Modrého potoka a Úpy (kamenné jezy před soutokem)**



**Obr. č. 13: Stupně ve dně koryta Úpy v Peci pod Sněžkou.**



**Obr. č. 14: Úpa v Peci pod Sněžkou vede pod silnicí II/296 (koruna vozovky)**



## 5.2 Vodní tok v modelech svažitosti terénu

### 5.2.1 Vizualizace svažitosti

Pro prezentaci modelu svažitosti vodního toku a jeho okolí jsem zvolila LiDAR (rozlišení 1 m a rozlišení SRTM), DMR 5G a SRTM. Vizualizace je v příloze č. 3. Celková šířka vodního toku s okolím je 300 metrů. U svažitosti LiDAR (rozlišení 1 m) a DMR 5G je rozsah svažitosti buněk rastru několikanásobně vyšší než v hrubším rozlišení LiDAR (rozlišení SRTM) a SRTM. Maximální hodnoty svažitosti jsou pro LiDAR (1 m) 258 %, pro DMR 5G 232 % a pro SRTM i LiDAR (rozlišení SRTM) 79 %.

Dále jsem se zaměřila přímo na svažitost vodního toku. V příloze č. 4 uvádím průběh svažitosti LiDAR, DMR 5G a SRTM. Velmi podobné výsledky jsou pro LiDAR a DMR 5G. Modrý potok vykazuje vysokou diverzitu sklonů. Úpa má převážně mírný sklon s krátkými úseky vykazující velmi vysokou sklonitost, tyto úseky jsou stupně ve dně koryta. U sklonitosti SRTM není možné tento průběh pozorovat. Hodnoty sklonu v hrubém rozlišení mají užší rozsah než podrobnější modely a Úpa má proměnlivější svažitost, což se neshoduje s výsledky podrobnějších dat.

Rozlišení vstupního výškového modelu terénu má vliv na model sklonitosti v horském členitém terénu.

### 5.2.2 Porovnání svažitosti vodního toku

Rozdíl svažitosti v podrobném rozlišení DMR 5G a LiDAR (rozlišení 2 m) se převážně blíží nule. Oba modely svažitosti mají podobné hodnoty a nelze říci, zda je svažitější DMR 5G nebo LiDAR. Při porovnání v hrubém rozlišení SRTM a LiDAR (rozlišení SRTM) jsou evidentní úseky, kdy jeden model svažitosti vykazuje větší sklonitost než druhý. Modrý potok je v některých částech svažitější ze SRTM

a v některých z LiDAR. Rozdíly pro Úpu jsou poměrně značné, ale rovnoměrné v celé délce. Po porovnání v podrobném a v hrubém rozlišení jsem vyhodnotila rozdíl mezi LiDAR (rozlišení 2 m) a LiDAR (rozlišení SRTM). Jednoznačně svažitéjší je LiDAR v rozlišení 2 metry, a to především Modrý potok. Což potvrzuje vliv rozlišení na svažitost terénu a vypovídá o nezachycení drobných velmi svažitých úseků vodního toku. Výsledek také poukazuje na rozdíl mezi Modrým potokem, svažitým a rozmanitým tokem, a Úpou, tokem méně diverzifikovaným. Výstup uvádím v příloze č. 5.

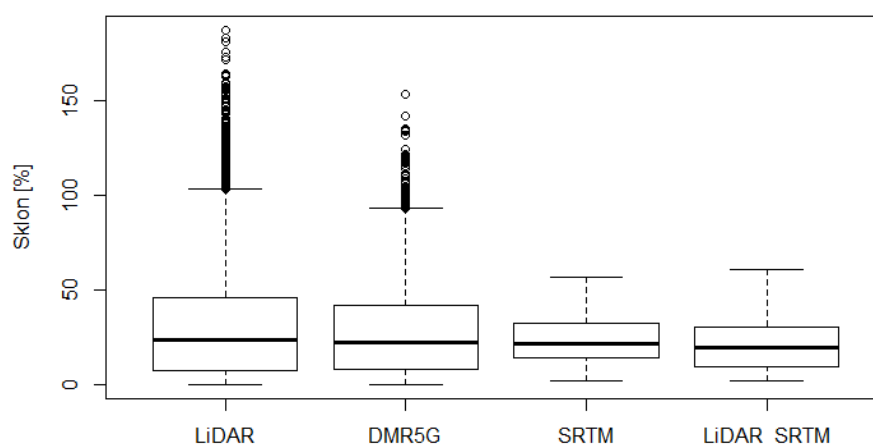
Průměrné hodnoty svažitosti jsou uvedeny v tabulce č. 2. V podrobném rozlišení 1 metr a 2 metry je zachycena členitost Modrého potoka, v hrubém rozlišení vychází s podstatně mírnějším sklonem a to bez ohledu na kvalitu vstupního DEM. Úpa má koryto poměrně vyrovnané a s menším průměrným sklonem, průměrná svažitost ze všech použitých DEM a v různém rozlišení vychází přibližně stejně. Hodnoty pro oba toky se liší vlivem rozlišení, což způsobuje Modrý potok.

**Tab. č. 2: Průměrná svažitost toků**

Rastr (rozlišení)	Průměrná svažitost (%)		
	Oba toky	Modrý p.	Úpa
LiDAR (1 m)	30,8	45,1	19,3
DMR 5G (2 m)	28,4	42,1	17,4
LiDAR (2 m)	29,4	41,6	19,5
SRTM (1")	23,0	27,3	19,7
LiDAR (1")	21,1	25,3	17,8

S výsledky průměrné svažitosti koresponduje rozbor rozptýlenosti hodnot (obr. č. 15). Z krabicového grafu je na první pohled evidentní zachycení velmi vysokých hodnot sklonu buněk v podrobném rozlišení. Tabulka č. 3 uvádí hodnoty potřebné k sestavní krabicového grafu. Z tabulky lze lépe odečíst, že většina hodnot sklonu buněk (75 %) v rozlišení 1 metr má sklon do 46 %, v rozlišení 2 metry do 42 % a v rozlišení přibližně 27,8 metrů (rozlišení SRTM) je to zhruba do 31 %. Tyto údaje dokládají vliv rozlišení na rozptýlenost hodnot buněk sklonitosti.

**Obr. č. 15: Rozptýlenost hodnot svažitosti buněk**



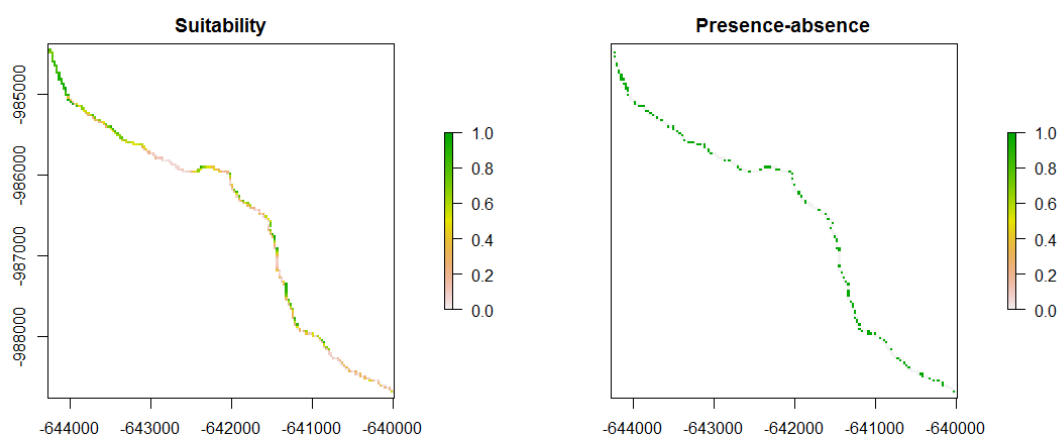
**Tab. č. 3: Svažitost buněk v pěti hodnotách**

	LiDAR	DMR 5G	SRTM	LiDAR (SRTM)
Minimum	0,00	0,01	1,42	1,74
Q <sub>1</sub>	7,35	7,77	14,13	9,46
Medián	23,23	22,00	21,64	19,23
Q <sub>3</sub>	45,77	41,92	32,44	30,41
Maximum	187,02	153,14	56,69	60,41

### 5.3 Model druhové distribuce

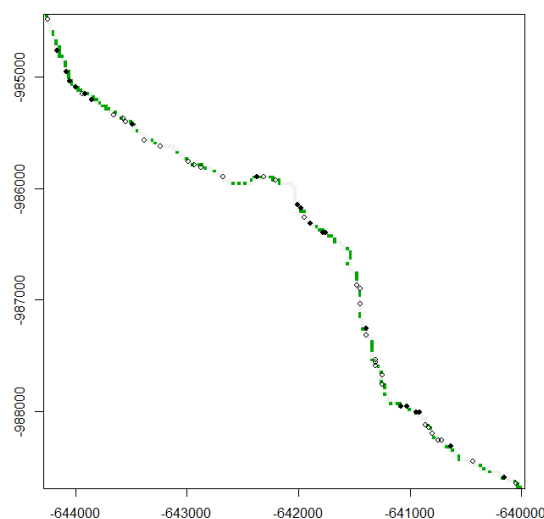
Nejprve jsem vytvořila prostředí vhodné pro virtuální druh v podobě spojitých i binárních dat (obr. č. 16).

**Obr. č. 16: Vhodné prostředí pro virtuální druh**



V dalším kroku bylo vygenerováno 50 záznamů pozorování, 27 záznamů výskytu a 23 záznamů nevýskytu. Prostorové umístění jednotlivých pozorování je na obrázku č. 17.

**Obr. č. 17: Záznamy pozorování virtuálního druhu**



Všechny výsledky modelů pro AUC, specificku a senzitivitu uvádím v tabulkách č. 4 až č. 6. Průměr AUC pro model s prediktorem svažitosti LiDAR je 0,713, což je lepší výkon než s prediktorem svažitosti SRTM s průměrem 0,545. Senzitivita říká, jak dobře model predikuje místa výskytu. S použitím svažitosti LiDAR model správně předpovídá místa výskytu s průměrně 67% pravděpodobností. S použitím svažitosti SRTM model správně předpovídá místa výskytu s průměrně 52% pravděpodobností. Specificku udává, jak dobře model predikuje místa nevýskytu. Pro svažitost LiDAR vykazuje model průměrně 67% pravděpodobnost správné predikce míst nevýskytu. Pro svažitost SRTM vykazuje model průměrně 49% pravděpodobnost správné predikce míst nevýskytu. Všechny tři metriky hodnotí model s prediktorem svažitosti LiDAR (v rozlišení SRTM) jako výkonnější s lepšími výsledky.

**Tab. č. 4: Hodnoty AUC**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø
LiDAR	0,718	0,692	0,723	0,738	0,728	0,713	0,676	0,739	0,715	0,688	<b>0,713</b>
SRTM	0,548	0,530	0,575	0,514	0,570	0,507	0,519	0,586	0,557	0,539	<b>0,545</b>

**Tab. č. 5: Senzitivita**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø
LiDAR	0,704	0,667	0,667	0,667	0,667	0,667	0,667	0,667	0,667	0,704	<b>0,674</b>
SRTM	0,556	0,519	0,481	0,556	0,519	0,519	0,481	0,481	0,593	0,519	<b>0,522</b>

**Tab. č. 6: Specificku**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø
LiDAR	0,652	0,696	0,652	0,652	0,696	0,652	0,696	0,652	0,696	0,696	<b>0,674</b>
SRTM	0,435	0,565	0,478	0,435	0,522	0,523	0,435	0,478	0,522	0,522	<b>0,492</b>

## 6 DISKUZE

Výsledky analýzy výškových modelů terénu poukazují na značný vliv rozlišení modelu v interpretaci horského členitého terénu. Tato skutečnost byla dále posuzována pro modely svažitosti terénu. Bylo prokázáno, že rozlišení vstupního DEM se zásadně projeví na hodnotách svažitosti terénu (viz obr. č. 15). K podobnému stanovisku došel i Vaze et al. (2010) ve své studii, kde hodnotili vliv rozlišení DEM LiDAR na charakteristiky bilance vody v povodí a hydrologické modely. Použití DEM LiDAR v různém rozlišení porovnávali s DEM vytvořeného z dat pořízených v hrubém měřítku (konkrétně z vrstevnicových map). Dle jejich závěrů by pro hydrologické modely měly být použity podrobnější, a tedy přesnější DEM, pokud je to možné. Zároveň zdůrazňují, že při použití DEM v hrubším rozlišení dosáhli lepšího výsledku s DEM LiDAR převzorkovaného do hrubšího rozlišení, než s DEM z dat v hrubším rozlišení už pořízených.

Data v podrobném rozlišení jsou dostupná jen pro omezené území, například DMR 5G zahrnuje Českou republiku, DEM LiDAR je dostupný pro území KRNAP. Navíc v mnoha zemích není dostupný národní digitální model terénu vůbec. Globální datové sady, kterou je SRTM (nebo např. ASTER), se využívají především ze dvou důvodů. V případě relativně malého zájmového území z nedostupnosti podrobnějších dat a v případě globálních studií. Třeba Moudrý, Šimová (2013) použili SRTM v rozlišení 90 metrů pro modelování distribuce mokřadních druhů ptáků ve třech částech Evropy a zjišťovali význam prediktorů pro jednotlivé druhy. Vertikální přesností globálních DEM se zabývají Karlsson, Arnberg (2011) pro využití v povodňových modelech. Ve svém výzkumu zjistili nadhodnocení povodňového modelu při využití globálních DEM (SRTM, HYDRO1K), zatímco simulací s lokálním DEM dosáhli lepší shody se skutečností. Příčinou vertikální nepřesnosti SRTM je vegetační pokryv. V současné době probíhá vývoj DEM bez vegetačního pokryvu s implementací údajů z několika datových souborů dálkového průzkumu Země. V prvních pokusech bylo dosaženo snížení globálního RMSE z 14,1 metrů na 5,9 metrů (O'Loughlin et al., 2016). S tímto globálním RMSE koresponduje RMSE vypočtené pro Modrý potok a část Úpy, kdy při porovnání DEM LiDAR v rozlišení SRTM a SRTM je RMSE rovno 14,8 metrů.

Zkoumání vlivu prostorového měřítka DEM na výkon modelů druhové distribuce se věnovali Zhang et al. (2016). V topograficky složitém terénu je častou komplikací nedostatek environmentálních proměnných a jedním z prvních dostupných dat je DEM. Ve svém výzkumu se zabývají 16 prediktory odvozenými z DEM a modelují



distribuci jedle a dubu v jihozápadní Číně. Zvolili 5 prostorových měřítek (30 m až 900 m). Došli k závěru, že vysoké rozlišení nemusí vést k lepšímu výkonu modelu (optimální rozlišení 120 m pro jedli a 240 m pro dub). Zdůrazňují však, že multi-měřítkem je potřeba detekovat rozdíly v požadavcích druhu na stanoviště. Je však možné využít výhradně DEM pro SDM. Vysoký vliv sklonu a aspektu terénu na modely distribuce vegetace potvrzují i Bennie et al. (2008). Tyto charakteristiky mají vliv na množství slunečního záření, povrchovou teplotu a proces evapotranspirace. Upozorňují na vliv topografie při stanovení mikroklimatických podmínek.

Virtuální druhy je dobré použít na hodnocení různých aspektů modelování, protože nejsou zatíženy chybami sběru dat (Moudrý, 2015), o kterých se zmiňuje kapitola 3.2.1. V rámci vytvoření virtuálního druhu dle vlastních požadavků je možné simulovat všechny vztahy mezi druhem a environmentálním prostředím (Leroy et al., 2015). Díky tomu bylo možné posoudit, vliv kvality vstupního DEM na výkon modelu druhové distribuce. Vertikální přesnost SRTM byla posouzena metrikami AUC, sensitivitou a specificitou. Metrika AUC je k hodnocení používána celou řadou autorů (Domínguez-Domínguez et al., 2006; Araújo, Luoto, 2007; Moudrý, Šímová, 2012b, 2013; Kuemmerlen et al., 2014; ...). Nicméně Lobo et al. (2008) uvádějí pět důvodů, proč nedoporučují AUC používat. Nejdůležitějším je míra dobře predikovaných absencí a hodnot AUC, v závislosti na celkovém rozsahu, ve kterém jsou modely prováděny. Nicméně bylo prokázáno, že SRTM zatížený výraznou vertikální chybou není vhodným DEM pro modely druhové distribuce v podrobném měřítku.

Pradervand et al. (2014) ve svém výzkumu uvádí, že samotné zpřesnění DEM pro SDM s reálnými druhy nemusí být dostačující. Napříč různými rozlišeními (2 m až 100 m) vytvořil modely druhové distribuce pro 239 druhů rostlin. Zpřesnění DEM nepřineslo zásadní zlepšení výkonu modelu a nejdůležitějším prediktorem byla teplota. Doporučuje, aby další úsilí bylo věnováno zpřesňování významnějších prediktorů a byly získávány v jemnějším měřítku.

## 7 ZÁVĚR

Byla provedena analýza výškových modelů terénu a modelů svažitosti terénu. DEM pocházely z různých zdrojů dat a předmětem zájmu byl vliv rozlišení na svažitost terénu. Při porovnání DEM LiDAR (rozlišení 2 m) a DMR 5G byla vypočtená hodnota střední kvadratické chyby rovna 0,64 metru. Při porovnání DEM LiDAR (rozlišení ~ 30 m) a SRTM byla RMSE rovna 14,77 metrů. Maximální hodnoty svažitosti pro LiDAR (1 m), DMR 5G (2 m) a LiDAR (~ 30 m) shodně SRTM (~ 30 m) v uvedeném pořadí jsou 187 %, 153 % a 60 %. Výsledky prokazují značný vliv jak na interpretaci povrchu terénu, tak na model svažitosti terénu.

Byl vytvořen virtuální druh sladkovodního ekosystému na přesných datech LiDAR. Pro modelování byl zvolen přístup křížové validace a generalizovaného lineárního modelu. Evaluace modelu byla provedena na DEM LiDAR a na SRTM s horší vertikální přesností. Horší výsledky evaluace pro SRTM jsou způsobeny vertikální chybou, kterou je SRTM zatíženo vlivem vegetace, ta se projeví ve výpočtech svažitosti terénu. V členitém terénu se vertikální chyba SRTM zásadně projeví v modelech druhové distribuce.

## 8 PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

**Allan D., Erickson D., Fay J., 1997:** The influence of catchment land use on stream integrity across multiple spatial scales. *Freshwater biology* 37: 149-161.

**AOPK ČR, 2016:** Chráněná území. *Agentura ochrany přírody a krajiny České Republiky*. Cit. 17. 2. 2017, online: <https://geoportal.gov.cz/web/guest/map>.

**Araújo M. B., Guisan A., 2006:** Five (or so) challenges for species distribution modelling. *Journal of Biogeography* 33(10): 1677-1688.

**Araújo M. B., Luoto M., 2007:** The importance of biotic interactions for modelling species distributions under climate change. *Global Ecology and Biogeography* 16: 743-753.

**Araújo M. B., New M., 2007:** Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in Ecology and Evolution* 22(1): 42-47.

**Araújo M. B., Peterson A. T., 2012:** Uses and misuses of bioclimatic envelope modeling. *Ecology* 93(7): 1527-1539.

**Bennie J., Huntley B., Wiltshire A., Hill M. O., Baxter R., 2008:** Slope, aspect and climate: spatially explicit and implicit models of topographic microclimate in chalk grassland. *Ecological Modelling* 216(1): 47-59.

**ČÚZK, 2016a:** ArcGIS Server – DMR 5G. *Český úřad zeměměřický a katastrální*. Cit. 18. 1. 2017, online: [http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(gqo3myiaumb3tmha3d02114r\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&side=wms.AGS&metadataID=CZ-CUZK-AGS-DMR5G&metadataXSL=metadata.sluzba&head\\_tab=sekce-03-gp&menu=3146](http://geoportal.cuzk.cz/(S(gqo3myiaumb3tmha3d02114r))/Default.aspx?mode=TextMeta&side=wms.AGS&metadataID=CZ-CUZK-AGS-DMR5G&metadataXSL=metadata.sluzba&head_tab=sekce-03-gp&menu=3146).

**ČÚZK, 2016b:** Technická zpráva k DMR 5G. *Český úřad zeměměřický a katastrální*. Cit. 18. 2. 2017, online: [https://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA\\_ZPRAVA\\_DMR\\_5G.pdf](https://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA_ZPRAVA_DMR_5G.pdf).

**ČHMÚ, 2017:** Meteorologická stanice Pec pod Sněžkou. *Český hydrometeorologický ústav*. Cit. 17. 2. 2017, online: [http://www.in-pocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=pec\\_pod\\_snezkou&historie\\_bar\\_mesic=2&historie\\_bar\\_rok=2017&typ](http://www.in-pocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=pec_pod_snezkou&historie_bar_mesic=2&historie_bar_rok=2017&typ).

**Deng Y., Wilson J. P., Bauer B. O., 2007:** DEM resolution dependencies of terrain attributes across a landscape. *International Journal of Geographical Information Science* 21(2): 187-213.

**DIBAVOD, 2006:** Vodní tok. *Digitální báze vodohospodářských dat*. Cit. 23. 2. 2017, online: <http://www.dibavod.cz/index.php?id=27&PHPSESSID=52cda09fdffc9187722cc6b7400a6757>.

**Domínguez-Domínguez O., Martínez-Meyer E., Zambrano L., De León G. P.-P., 2006:** Using ecological-niche modeling as a conservation tool for freshwater species: live-bearing fishes in central Mexico. *Conservation Biology* 20(6): 1730-1739.

**Domisch S., Amatulli G., Jetz Walter: 2015a:** Near-global freshwater-specific environmental variables for biodiversity analyses in 1 km resolution. *Scientific data* 2/150073.

**Domisch S., Jähnig S. C., John P. S., Kueffer M., Stoll S., 2015b:** Application of species distribution models in stream ecosystems: the challenges of spatial and temporal scale, environmental predictors and species occurrence data. *Fundamental and Applied Limnology* 186(1-2): 45-61.

**Dudgeon D., Arthington A. H., Gessner M. O., Kawabata Z. I., Knowler D. J., Lévêque C., et al., 2006:** Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological reviews* 81: 163-182.

**Elith J., Burgman M. A., Regan H. M., 2002:** Mapping epistemic uncertainties and vague concepts in predictions of species distribution. *Ecological Modelling* 157: 313-329.

**Elith J., Leathwick J. R., 2009:** Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annual review of ecology, evolution, and systematics* 40: 677-697.

**GEODIS, 2013:** Snímkování a letecké laserové skenování Krkonošského národního parku. *GEODIS CZ s. r. o., 24 s. Cit. 18. 2. 2017, online:* [https://issuu.com/geodis/docs/geodis\\_\\_news\\_\\_stranky](https://issuu.com/geodis/docs/geodis__news__stranky).

**Gisat, 2017:** SRTM DEM. *Gisat, s. r. o. Cit. 19. 2. 2017, online:* <http://www.gisat.cz/content/cz/produkty/digitalni-model-terenu/srtm-dem>.

**Goodchild M. F., 2011:** Scale in GIS: An overview. *Geomorphology* 130(1): 5-9.

**HEIS VÚV, 2017:** Řád vodních toků dle Strahlera. *Hydroekologický informační systém, výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka*. Cit. 17. 2. 2017, online: [http://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=strah&TMPL=AJAX\\_MAIN&IFRAME=1&LEGEND\\_HIDE=0&QUERY\\_SELECTION=1&FULLTEXT\\_CHECKED=1](http://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=strah&TMPL=AJAX_MAIN&IFRAME=1&LEGEND_HIDE=0&QUERY_SELECTION=1&FULLTEXT_CHECKED=1).

- Hendl J., 2015:** Přehled statistických metod: analýza a metaanalýza dat. *Portál, Praha*, 736 s.
- Hutchinson G. E., 1957:** Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposium on Quantitative Biology* 22: 415-457.
- Karlsson J. M., Arnberg W., 2011:** Quality analysis of SRTM and HYDRO1K: a case study of flood inundation in Mozambique. *International journal of remote sensing* 32(1): 267-285.
- KRNAP, 2017:** Přírodní poměry v zájmovém území. *Krkonošský národní park. Cit. 17. 2. 2017, online: <http://www.krnep.cz/prirodni-pomery/>.*
- Kuemmerlen M., Schmalz B., Guse B., Qinghua C., Fohrer N., Jähnig S. C., 2014:** Integrating catchment properties in small scale species distribution models of stream macroinvertebrates. *Ecological Modelling* 277: 77-86.
- Kuemmerlen M., Stoll S., Sundermann A., Haase P., 2015:** Long-term monitoring data meet freshwater species distribution models: Lessons from an LTER-site. *Ecological Indicators* 65: 122-132.
- Leroy B., Meynard C. N., Bellard C., Courchamp F., 2015:** virtualespecies, an R package: to generate virtual species distributions. *Ecography* 39: 599-607, *tutorial online: <http://borisleroy.com/files/virtualespecies-tutorial.html>.*
- Liu C., White M., Newell G., 2009:** Measuring the Accuracy of Species Distribution Models: a Review. *Proceedings 18th World IMACs/MODSIM Congress. Cairns, Australi: 4241-4247.*
- Liu C., White M., Newell G., 2011:** Measuring and comparing the accuracy of species distribution models with presence-absence data. *Ecography* 34: 232-243.
- Lobo J. M., Jiménez-Valverde A., Real R., 2008:** AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global ecology and Biogeography* 17(2): 145-151.
- Moudrý V., 2015:** Modelling species distributions with simulated virtual species. *Journal of Biogeography* 42(8): 1365-1366.
- Moudrý V., Šimová P., 2012a:** Influence of positional accuracy, sample size and scale on modelling species distributions: a review. *International Journal of Geographical Information Science* 26(11): 2083-2095.

- Moudrý V., Šímová P., 2012b:** The Effects of False Positive Errors in Species Occurrence Data on the Performance of Species Distribution Models: Case Study on the Wild Duck (*Anas platyrhynchos*). *Littera Scripta* 2: 243-249.
- Moudrý V., Šímová P., 2013:** Relative importance of climate, topography, and habitats for breeding wetland birds with different latitudinal distributions in the Czech Republic. *Applied Geography* 44: 165-171.
- O'Loughlin F. E., Paiva R. C. D., Durand M., Alsdorf D. E., Bates P. D., 2016:** A multi-sensor approach towards a global vegetation corrected SRTM DEM product. *Remote Sensing of Environment* 182: 49-59.
- Pearson R. G., 2007:** Species' distribution modeling for conservation educators and practitioners. *Lessons in Conservation* 3: 54-89.
- Pradervand J. N., Dubuis A., Pellissier L., Guisan A., Randin C., 2014:** Very high resolution environmental predictors in species distribution models: Moving beyond topography?. *Progress in Physical Geography* 38(1): 79-96.
- Rapidlasso, 2014:** LAStools. *Cit.* 2/2017, *online:* <https://rapidlasso.com/lastools/>.
- Riegl, 2012:** LMS-Q680i. *Cit.* 18. 2. 2017, *online:* [http://www.riegl.com/uploads/tx\\_pxpriegldownloads/10\\_DataSheet\\_LMS-Q680i\\_28-09-2012\\_01.pdf](http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegldownloads/10_DataSheet_LMS-Q680i_28-09-2012_01.pdf).
- Sundermann A., Gerhardt M., Kappes H., Haase P., 2013:** Stressor prioritisation in riverine ecosystems: Which environmental factors shape benthic invertebrate assemblage metrics?. *Ecological Indicators* 27: 83-96.
- USGS, 2015a:** SRTM info. *United States Geological Survey. Cit.* 19. 2. 2017, *online:* <https://lta.cr.usgs.gov/SRTM1Arc>.
- USGS, 2015b:** Návod pro uživatele. *United States Geological Survey. Cit.* 19. 2. 2017, *online:* [https://lpdaac.usgs.gov/sites/default/files/public/measures/docs/NASA\\_SRTM\\_V3.pdf](https://lpdaac.usgs.gov/sites/default/files/public/measures/docs/NASA_SRTM_V3.pdf)
- USGS, 2016:** SRTM raster. *United States Geological Survey. Cit.* 18. 1. 2017, *online:* <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Vaze J., Teng J., Spencer G., 2010:** Impact of DEM accuracy and resolution on topographic indices. *Environmental Modelling & Software* 25: 1086-1098.
- Zhang L., Liu S., Sun P., Wang T., Wang G., Wang L., Zhang X., 2016:** Using DEM to predict *Abies faxoniana* and *Quercus aquifolioides* distributions in the upstream catchment basin of the Min River in southwest China. *Ecological Indicators* 69: 91-99.

**Zhang W., Montgomery D. R., 1994:** Digital elevation model grid size, landscape representation, and hydrologic simulations. *Water resources research* 30(4): 1019-1028.

GIS Services:

GIS Service 1: DMR 5G. Cit. 18. 1. 2017, dostupné z:

[http://ags.cuzk.cz/arcgis/services/3D/dmr5g\\_sjtsk/ImageServer](http://ags.cuzk.cz/arcgis/services/3D/dmr5g_sjtsk/ImageServer)

GIS Service 2: CORINE Land Cover 2012. Cit. 19. 2. 2017, dostupné z:

[http://geoportal.gov.cz/ArcGIS/services/CENIA/cenia\\_corine\\_2012/mapserver/WMSserver?](http://geoportal.gov.cz/ArcGIS/services/CENIA/cenia_corine_2012/mapserver/WMSserver?)

## 9 SEZNAMY

### 9.1 Obrázky

Obr. č. 1: Řád vodních toků podle Strahlera.....	23
Obr. č. 2: Krajinný pokryv v okolí vodních toků.....	24
Obr. č. 3: Vodní toky využitě v analýzách.....	28
Obr. č. 4: LiDAR odrazy v okolí vodního toku .....	29
Obr. č. 5: Řazení odrazů od terénu dle souřadnic .....	30
Obr. č. 6: Sklon terénu .....	30
Obr. č. 7: Svažítost koryta toku v SDM.....	32
Obr. č. 8: Příklad ROC křivky .....	33
Obr. č. 9: Pramen Modrého potoka na strmém svahu lavinového pole a Modré stráně nad Modrým dolem .....	34
Obr. č. 10: Modrý potok pod Modrou strání.....	35
Obr. č. 11: Modrý potok přibližně ve středu Modrého dolu .....	35
Obr. č. 12: Soutok Modrého potoka a Úpy (kamenné jezy před soutokem).....	35
Obr. č. 13: Stupně ve dně koryta Úpy v Peci pod Sněžkou. ....	35
Obr. č. 14: Úpa v Peci pod Sněžkou vede pod silnicí II/296 (koruna vozovky).....	36
Obr. č. 15: Rozptýlenost hodnot svažítosti buněk.....	38
Obr. č. 16: Vhodné prostředí pro virtuální druh.....	38
Obr. č. 17: Záznamy pozorování virtuálního druhu.....	39

### 9.2 Tabulky

Tab. č. 1: Krajinný pokryv v okolí vodních toků.....	23
Tab. č. 2: Průměrná svažítost toků.....	37
Tab. č. 3: Svažítost buněk v pěti hodnotách .....	38
Tab. č. 4: Hodnoty AUC .....	39
Tab. č. 5: Sensitivita.....	39
Tab. č. 6: Specificita.....	39



### **9.3 Přílohy**

Příloha č. 1: Model druhové distribuce (R).....	50
Příloha č. 2: Výškový model vodního toku.....	53
Příloha č. 3: Vizualizace svažitosti terénu .....	54
Příloha č. 4: Vodní tok v modelech svažitosti .....	55
Příloha č. 5: Porovnání svažitosti.....	58

## 10 PŘÍLOHY

### Příloha č. 1: Model druhové distribuce (R)

```
> #Model of the virtual species
>
> library(sp)
> library(raster, quietly = T)
> library(virtualspecies)
>
> ##Input data
> SRTM <- stack("C:/Users/Petra/Desktop/DP_SDM/slope/SRTM"); SRTM
class      : RasterStack
dimensions : 153, 154, 23562, 1 (nrow, ncol, ncell, nlayers)
resolution : 27.77452, 27.77452 (x, y)
extent     : -644271.2, -639993.9, -988690.3, -984440.8 (xmin, xmax,
ymin, ymax)
coord. ref.: +proj=krovak +lat_0=49.5 +lon_0=24.833333333333333 +k=0.9999
+x_0=0 +y_0=0 +ellps=bessel +units=m +no_defs
names      : SRTM
min values : 1.423192
max values : 56.6888
> LiDAR <- stack("C:/Users/Petra/Desktop/DP_SDM/slope/LiDAR"); LiDAR
class      : RasterStack
dimensions : 153, 154, 23562, 1 (nrow, ncol, ncell, nlayers)
resolution : 27.77452, 27.77452 (x, y)
extent     : -644271.2, -639993.9, -988690.3, -984440.8 (xmin, xmax,
ymin, ymax)
coord. ref.: +proj=krovak +lat_0=49.5 +lon_0=24.833333333333333 +k=0.9999
+x_0=0 +y_0=0 +ellps=bessel +units=m +no_defs
names      : LiDAR
min values : 1.741471
max values : 60.41364
>
> ##Plotting SRTM and LiDAR
> par(oma = c(0.1, 0.1, 0.1, 2.1))
> plot(SRTM, main="Slope of the DEM SRTM [%]")
> plot(LiDAR, main="Slope of the DEM LiDAR [%]")
>
> ##Suitability of the environment
> my.parameters <- formatFunctions(LiDAR = c(fun='logisticFun',
alpha = -10, beta = 22))
>
> ##Generation of the virtual species
> my.species <- generateSpFromFun(raster.stack = LiDAR,
+                               parameters = my.parameters,
+                               formula = NULL, plot = TRUE)
> my.species
Virtual species generated from 1 variables:
  LiDAR
- Approach used: Responses to each variable
- Response functions:
  .LiDAR [min=1.741471; max=60.41364] : logisticFun (alpha=-10;beta=22)
- Each response function was rescaled between 0 and 1
- Environmental suitability formula = LiDAR
- Environmental suitability was rescaled between 0 and 1
>
> ##Conversion of environmental suitability to presence-absence
> par(mar=rep(2,4))
> my.species <- convertToPA(my.species,
+                           beta = 0.75, alpha = -0.5, plot = TRUE)
Determining species.prevalence automatically according to alpha and beta
>
```

```

> ##Sampling occurrence points
> PA.points <- sampleOccurrences(my.species, n = 50,
+                               type = "presence-absence")
> str(PA.points)
List of 4
 $ sample.points      :'data.frame':   50 obs. of  4 variables:
  ..$ x              : num [1:50] -641896 -641758 -640730 -641258 -640952 ...
  ..$ y              : num [1:50] -986316 -986399 -988260 -987677 -988010 ...
  ..$ Real           : num [1:50] 1 1 0 0 1 0 0 0 0 0 ...
  ..$ Observed: num [1:50] 1 1 0 0 1 0 0 0 0 0 ...
 $ detection.probability: num 1
 $ error.probability   : num 0
 $ sample.prevalence   : Named num [1:2] 0.4 0.4
  ..- attr(*, "names")= chr [1:2] "true.sample.prevalence"
"observed.sample.prevalence"
 - attr(*, "class")= chr [1:2] "list" "vssampledPoints"

> file <- as.character(paste("C:/Users/Petra/Desktop/DP_SDM/", ".txt",
sep=""))
> write.table (PA.points$sample.points, file, sep=",", row.names=FALSE)
>
>
>
> #Species distribution modeling
>
> ##Input data
> PAValuesLiDAR <-
read.table("C:/Users/Petra/Desktop/DP_SDM/PA.points/value/valuesLiDAR.txt",
+          header=T, sep=";")
>
> ### Show data
> head(PAValuesLiDAR)
  FID      x      y Real Observed ID RASTERVALU
1  0 -640813.2 -988204.2  0      0 44  6.943012
2  1 -641896.4 -986315.6  0      0 30 19.099583
3  2 -642035.3 -986037.8  1      1 28 18.578524
4  3 -640257.7 -988537.5  0      0 49 11.182577
5  4 -641285.4 -987648.7  0      0 40 13.694673
6  5 -641091.0 -987954.3  1      1 42 20.431458
> str(PAValuesLiDAR)
'data.frame':   50 obs. of  7 variables:
 $ FID      : int  0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 ...
 $ x        : num  -640813 -641896 -642035 -640258 -641285 ...
 $ y        : num  -988204 -986316 -986038 -988538 -987649 ...
 $ Real     : int  0 0 1 0 0 1 0 0 1 1 ...
 $ Observed : int  0 0 1 0 0 1 0 0 1 1 ...
 $ ID       : int  44 30 28 49 40 42 15 50 9 3 ...
 $ RASTERVALU: num  6.94 19.1 18.58 11.18 13.69 ...

> ##Crossvalidation
>
> ###Distribution of data into 5 groups
> rec <- nrow(PAValuesLiDAR); rec
[1] 50
> group <- rep(1:5, length = rec)
> group <- sample(group)
> D_1 <- numeric(0)
> D_1_all <- numeric(0)
> PA_1_all <- numeric(0)
>

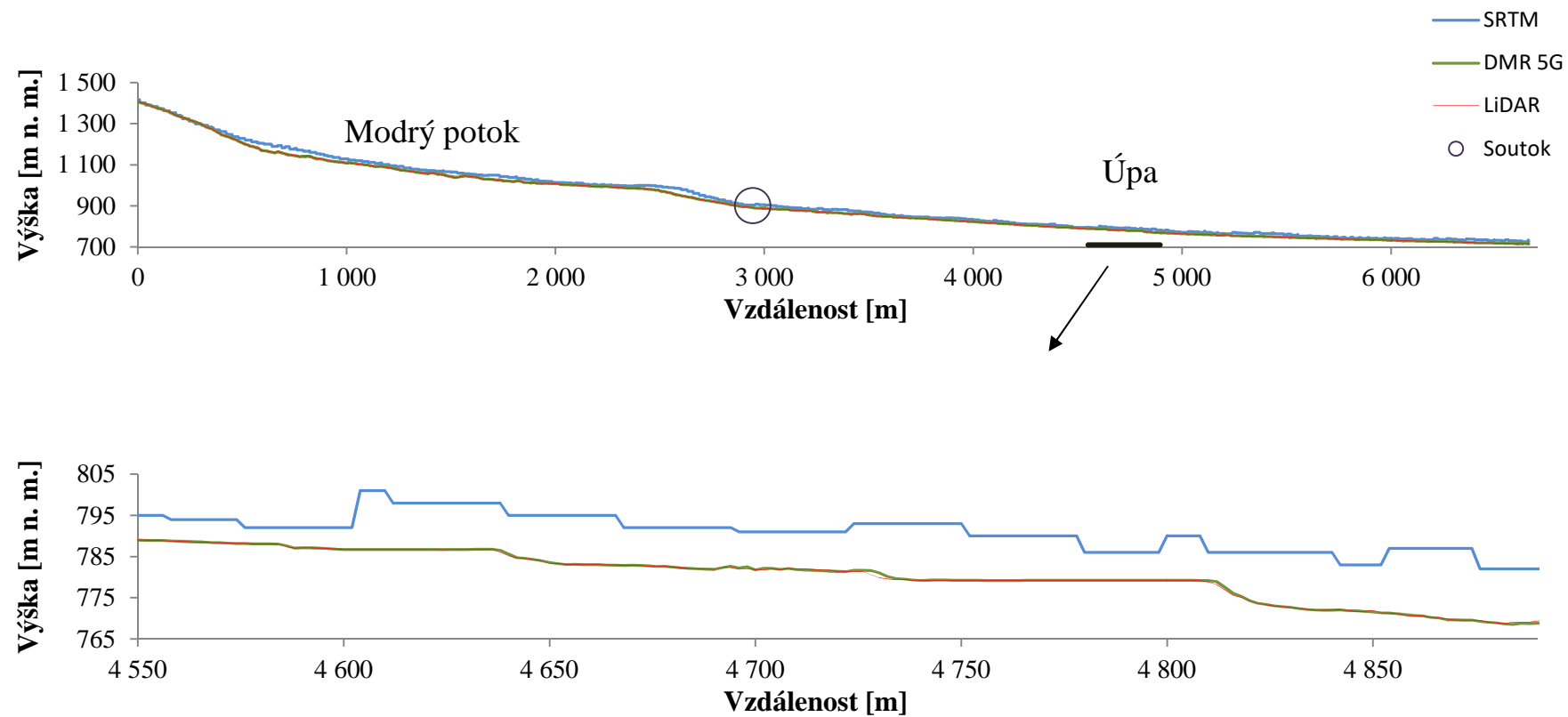
```

```

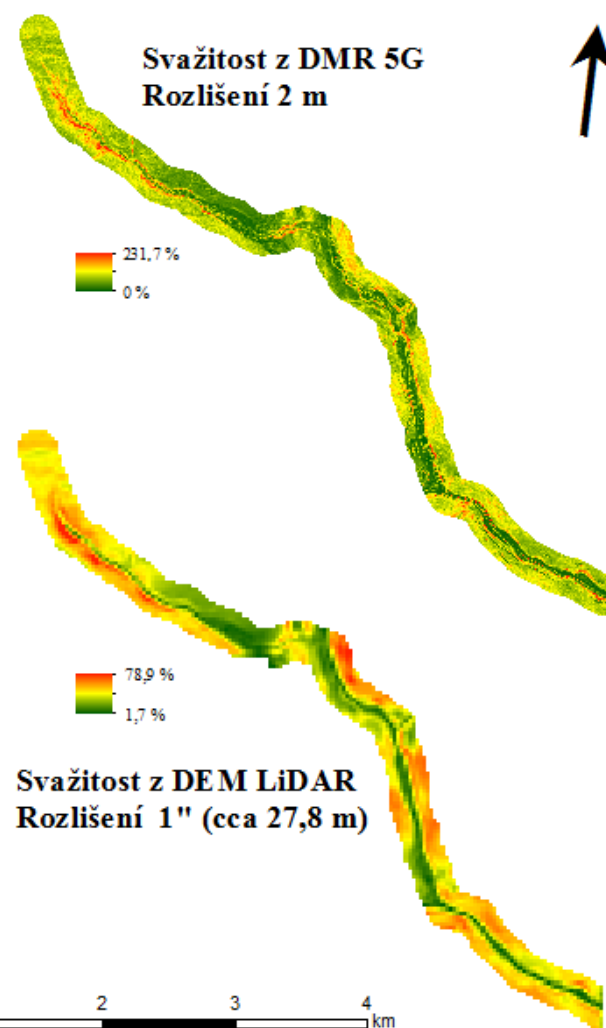
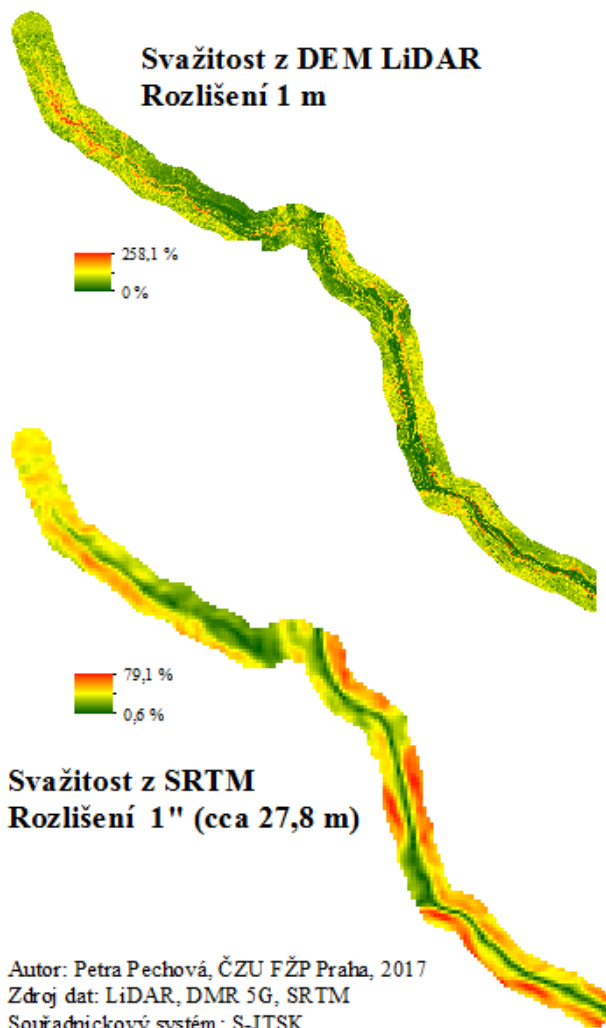
> ##GLM processing for 5 groups
> for(i in 1:5) {group_1.glm <- glm(Observed~RASTERVALU,
+                               family= binomial,
+                               data=PAvaluesLiDAR[group!=i,])
+ predict_S1 <- predict(group_1.glm, newdata = PAvaluesLiDAR[group==i,],
+                         type = "response")
+ D_1 <- as.vector(predict_S1)
+ D_1_all <- c(D_1_all, D_1)
+ PA_1 <- PAvaluesLiDAR[group==i, c("RASTERVALU", "Observed")]
+ PA_1_all <- rbind(PA_1_all, PA_1)
+ }
>
> library(PresenceAbsence)
> PA_1_all <- PA_1_all[,c("RASTERVALU", "Observed")]
> LiDAR_1 <- data.frame(PA_1_all, D_1_all)
> optresh <- optimal.thresholds(LiDAR_1, opt.methods = "ObsPrev",
which.model = 1)
> t <- optresh[,2];t
[1] 0.54
>
> ## Evaluation model
> presence.absence.accuracy(LiDAR_1, threshold = t, find.auc = TRUE, st.dev
= TRUE)
  model threshold PCC sensitivity specificity Kappa AUC
PCC.sd sensitivity.sd
1 D_1_all      0.54 0.66  0.6666667  0.6521739 0.317817 0.6972625
0.06767268    0.09245003
  specificity.sd Kappa.sd AUC.sd
1      0.1015433 0.1341556 0.07648601

```

## Příloha č. 2: Výškový model vodního toku

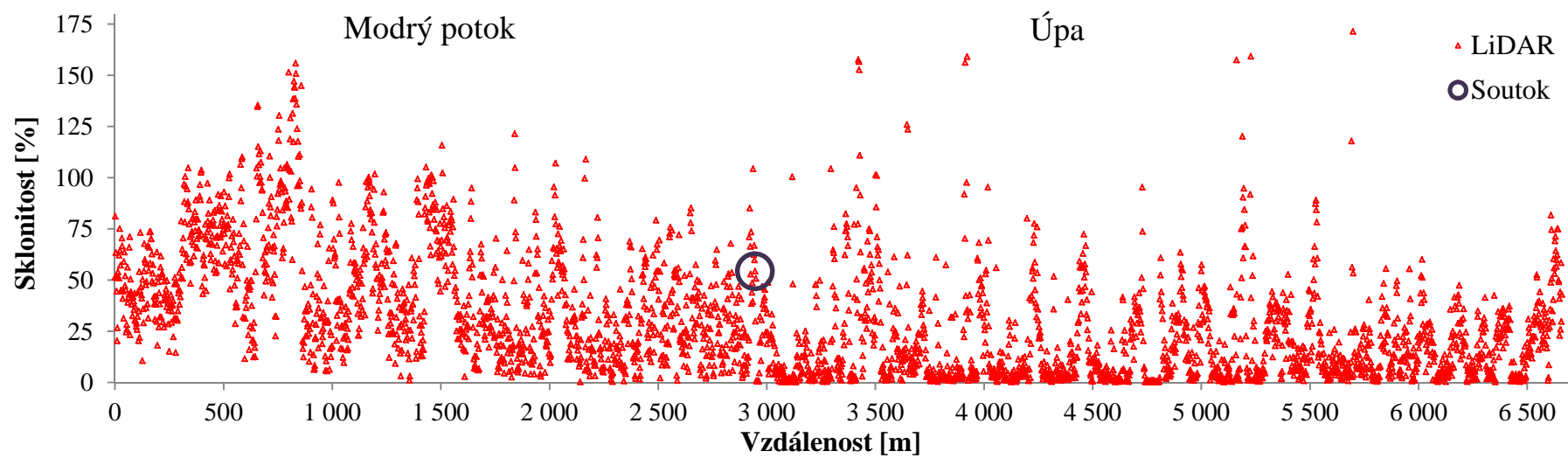


### Příloha č. 3: Vizualizace svažitosti terénu

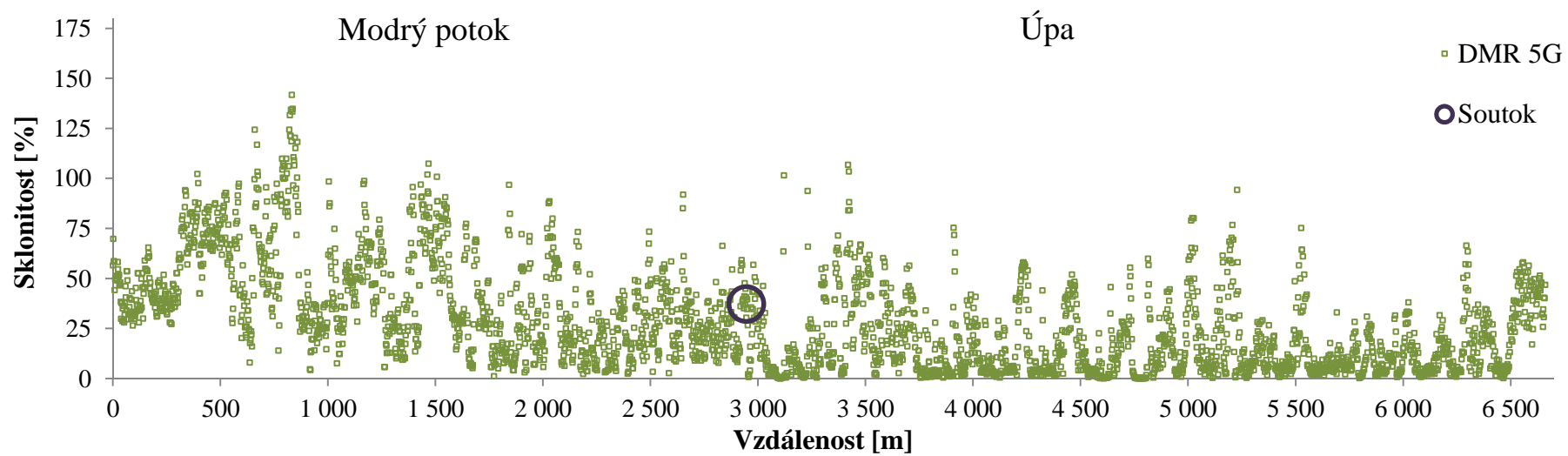


#### Příloha č. 4: Vodní tok v modelech svážitosti

##### Svážitost vodního toku LiDAR (rozlíšení 1 m)

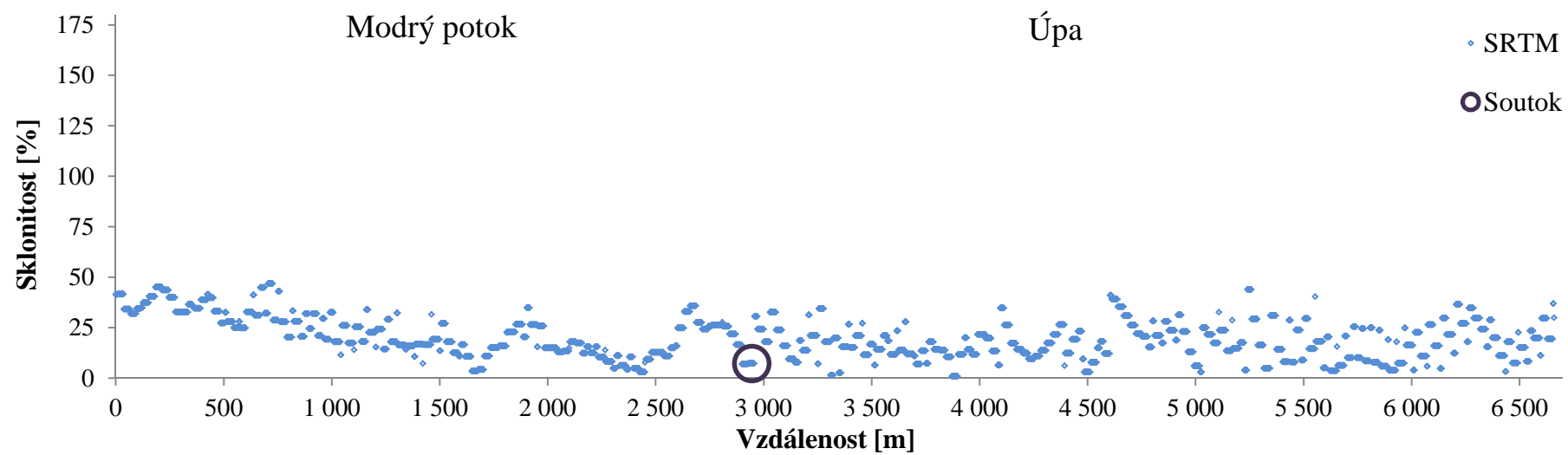


### Svažitost vodního toku DMR 5G (rozlišení 2m)





**Svažitost vodního toku SRTM (rozlišení přibližně 27,8 m)**

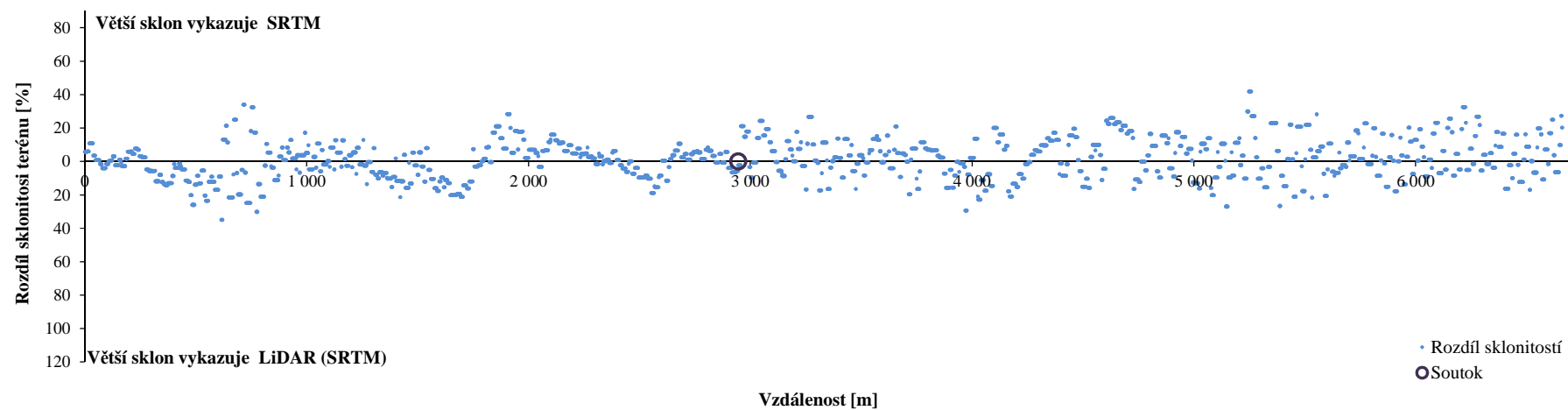


## Příloha č. 5: Porovnání svažitosti

### Porovnání svažitosti vodního toku DMR 5G a LiDAR v rozlišení 2 m



### Porovnání svazitosti vodního toku SRTM a LiDAR v rozlišení přibližně 27,8 m



### Porovnání svazitosti vodního toku LiDAR v rozlišení přibližně 27,8 m a 2 m

