

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA PROSTOROVÝCH VĚD



Česká zemědělská
univerzita v Praze

POTENCIÁL DAT POŘÍZENÝCH POMOCÍ UAV
PRO ANALÝZY VIDITELNOSTI

THE POTENTIAL OF UAV-ACQUIRED DATA FOR
VISIBILITY ANALYSES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: ING. ONDŘEJ LAGNER, PH.D.

Diplomant: BC. ONDŘEJ VÁLEK

2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Ondřej Válek

Prostorové vědy v životním prostředí

Název práce

Potenciál dat pořízených pomocí UAV pro analýzy viditelnosti

Název anglicky

The potential of UAV-acquired data for visibility analyses

Cíle práce

Hlavním cílem práce je zjištění, jaký vliv má aktualizace prostorových dat na výsledky analýzy viditelnosti. Aktualizace je provedena pomocí dat získaných bezpilotními leteckými prostředky s vyšším rozlišením, než mají volně dostupné digitální modely. Jako jeden z vedlejších cílů je získat informace o tom, jak jsou výsledky ovlivněny vstupními daty, například jejich stářím nebo rozlišením, a to porovnáním statistických parametrů jednotlivých modelů. Druhým vedlejším cílem je určení vzdálenosti, při které je vliv aktualizace dat pořízených UAV na výsledek analýzy viditelnosti signifikantní, tedy jak moc se mění viditelné a neviditelné plochy při aktualizaci dat v různé vzdálenosti od pozorovatele.

Metodika

Práce je zaměřena na tvorbu analýzy viditelnosti s využitím více digitálních modelů povrchu (DMP) s rozdílným způsobem a obdobím pořízení – modely radarových misí, nebo ty vytvořené kombinací digitálního modelu reliéfu a modely vegetace mají tendence nadhodnocovat viditelné plochy v porovnání s daty pořízenými laserovým skenováním. Tato data budou následně aktualizována pomocí dat pořízených bezpilotními leteckými prostředky. Pro zpracování analýz budou vybrány 3 lokality na území školského zemědělského podniku Amálie s rozdílnými podmínkami prostředí, jako je sklonitost svahu, nebo vzdálenost a výška vegetace. Po provedení jednotlivých analýz na rozdílných DMP budou mezi sebou porovnávány jejich výsledky pomocí Cohena Kappa indexu vůči referenčnímu digitálnímu modelu. Výsledky analýzy viditelnosti budou validovány na základě fotografií pořízených na zájmových lokalitách.

Doporučený rozsah práce

40 stran

Klíčová slova

GIS, CHM, UAV, Analýzy viditelnosti

Doporučené zdroje informací

BARTIE, Phil, et al. Advancing visibility modelling algorithms for urban environments. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2010, 34.6: 518-531.

COHEN, Jacob. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and psychological measurement*, 1960, 20.1: 37-46.

DOMINGO-SANTOS, Juan M.; DE-VILLARÁN, Rubén Fernández-. Visibility analysis. *International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology: People, the Earth, Environment and Technology*, 2016, 1-14.

LAGNER, O.; KLOUČEK, T.; ŠIMOVA, P. Impact of input data (in) accuracy on overestimation of visible area in digital viewshed models. *PeerJ*, 6, e4835. 2018

MIKITA, Tomáš, et al. The Potential of UAV Data as Refinement of Outdated Inputs for Visibility Analyses. *Remote Sensing*, 2023, 15.4: 1028.

Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Ondřej Lagner, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra prostorových věd

Elektronicky schváleno dne 18. 3. 2024

prof. Ing. Petra Šimová, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 3. 2024

prof. RNDr. Michael Komárek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 25. 03. 2024

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou/závěrečnou práci na téma: Potenciál dat pořízených pomocí UAV pro analýzy viditelnosti vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji diplomovou/závěrečnou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové/závěrečné práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 25.3.2024

.....

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu práce, Ing. Ondřejovi Lagnerovi, Ph. D., za vedení této práce, věcné rady a připomínky, trpělivost a motivující přístup. Dále patří poděkování mé rodině a přítelkyni, mým blízkým, spolužákům a všem, kdo mě během práce podporovali.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá využitím dat pořízených bezpilotními leteckými prostředky pro potřeby analýzy viditelnosti. Tato práce si klade za cíl vyhodnotit změny ve výsledcích viditelnosti po zpřesnění vstupních dat v okolí pozorovatele pomocí bezpilotních leteckých prostředků (UAV). V práci je zohledněn vliv kvality vstupních dat, tj. stářím, rozlišením, nebo polohovou chybou. Existující studie podobného zaměření se však nezabývají změnou výsledků v závislosti na velikosti okolí, pro které je aktualizace dat prováděna. Práce se tedy zabývá i touto problematikou.

Veškerá data (s výjimkou UAV dat), byla získána z volně dostupných zdrojů, při výběru datových sad byl pak kladen důraz na rozdílné stáří dat, prostorové rozlišení nebo způsob pořízení. Metodám, jakými jsou data pořizována je rovněž věnována část literární rešerše. Analýzy byly prováděny na území školního zemědělského podniku Amálie, pro které byla katedrou prostorových věd Fakulty životního prostředí České zemědělské univerzity v Praze zapůjčena data pořízená UAV. V zájmové oblasti byly vybrány 3 lokality s odlišnými podmínkami prostředí. K porovnání vlivu aktualizace dat byl využit Kohenův kappa koeficient, který pracuje se všemi kategoriemi chybové matice – kromě správně klasifikovaných ploch zahrnuje také ty, které byly klasifikovány chybně. Viditelnost na jednotlivých lokalitách byla rovněž vizuálně posouzena na místě.

Výsledná viditelnost je na základě zjištění této práce ovlivněna nejen stářím dat, ale také prostorovým rozlišením nebo polohovou chybou. Starší data nereflktují přesně zemský povrch, zejména v oblastech pokrytých vegetací. Data s nižším rozlišením naopak příliš generalizují zemský povrch, čímž nadhodnocují viditelná území. Použití UAV dat se projevilo jako zásadní krok pro získání přesných výsledků. Performance modelů vytvořených fúzí více datových sad se neukázala být příliš vysoká, i přesto, že se jednalo o nejméně stará data. Při zjišťování vzdálenosti, na kterou je nejvhodnější data aktualizovat však nebyl určen jednoznačný závěr, jelikož je tato vzdálenost různá pro každou lokalitu v závislosti na podmínkách okolního prostředí.

KLÍČOVÁ SLOVA

GIS, CHM, UAV, Analýzy viditelnosti

ABSTRACT

The master's thesis deals with the utilization of data acquired by unmanned aerial vehicles (UAVs) for the purpose of visibility analysis. The aim of this study is to evaluate changes in visibility after refining the input data around the observer using UAVs. The thesis considers the influence of the quality of input data, such as its age, spatial resolution, or positional error. Existing studies of similar focus, however, do not address the change in results depending on the size of the surrounding area for which data refinement is performed. This thesis addresses this issue.

All data (except for UAV data) were obtained from freely available sources, with an emphasis on different data ages, spatial resolutions, or acquisition methods. A part of the literature review is dedicated to methods used for data acquisition. Analyses were conducted in the area of the Amálie Pilot Farm project, for which UAV acquired data were obtained from the Department of Spatial Sciences at the Faculty of Environmental Sciences, Czech University of Life Sciences in Prague. Three locations with different environmental conditions were selected in the study area. To compare the impact of data refinement, Cohen's kappa coefficient was used. This coefficient works with all categories of the confusion matrix – in addition to correctly classified areas, it also includes those that were classified incorrectly. Visibility at individual locations was also visually assessed on-site.

Based on the findings of this study, the resulting visibility is influenced not only by the age of the data but also by spatial resolution or positional error. Older data do not accurately reflect the Earth's surface, especially in areas covered by vegetation. Conversely, data with lower resolution tend to generalize the Earth's surface, thereby overestimating visible areas. The use of UAV data proved to be a crucial step in obtaining accurate results. The performance of models created by fusing multiple datasets did not appear to be very high, even though the data was least aged. However, there was no clear conclusion regarding the distance at which data should be updated, as this distance varies for each location depending on the surrounding environmental conditions.

KEYWORDS

GIS, CHM, UAV, Visibility Analysis

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ALS – Airborne Laser Scanner

ASTER – Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

ČÚZK – Český úřad zeměměřický a katastrální

DMP – Digitální model povrchu

DMR – Digitální model reliéfu

ESA – European Space Agency

GEDI – Global Ecosystem Dynamics Investigation

GIS – Geografické Informační Systémy

InSAR – Interferometric Synthetic Aperture Radar

LIDAR – Light Detection and Ranging

LLOS – Linear Line of Sight

LOS – Line of Sight

NASA – National Aeronautics and Space Administration

NGA – National Geospatial-Intelligence Agency

RADAR – Range Detection and Ranging

RLOS – Radial Line of Sight

RMSE – Root Mean Square Error

SAR – Synthetic Aperture Radar

SRTM – Shuttle Radar Topography Mission

ŠZP – Školní zemědělský podnik

TIN – Triangulated Irregular Networks

UAV – Unmanned Aerial Vehicle

USGS – United States Geological Survey

OBSAH

1. ÚVOD	11
2. CÍLE PRÁCE	12
3. LITERÁRNÍ REŠERŠE	13
3.1. Využití analýzy viditelnosti	13
3.1.1. Vojenské využití	14
3.1.2. Radiokomunikace	14
3.1.3. Plánování krajiny a urbanismus	15
3.2. Metody výpočtu analýzy viditelnosti	16
3.2.1. Line of Sight	16
3.2.2. Viewshed	17
3.2.3. Visibility	18
3.2.4. Visibility Graph	18
3.2.5. Geoprocessingové služby	19
3.3. Využívaná data	20
3.3.1. Digitální model reliéfu	21
3.3.2. Digitální model povrchu	21
3.4. Metody sběru dat	22
3.4.1. Fotogrammetrie	23
3.4.2. LiDAR	23
3.4.3. RADAR	25
4. CHARAKTERISTIKA STUDIJNÍHO ÚZEMÍ	26
5. DATA A METODIKA	28
5.1. Data	28
5.1.1. Digitální model povrchu 1. generace	28
5.1.2. Digitální model reliéfu 5. generace + Canopy height model	28
5.1.3. Copernicus DEM	29
5.1.4. SRTM	30

5.1.5.	UAV data	30
5.2.	Metodika	30
5.2.1.	Porovnání vstupních dat	30
5.2.2.	Analýzy viditelnosti	32
5.2.3.	Porovnání vzdáleností aktualizace dat.....	35
6.	SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	36
7.	VÝSLEDKY	38
7.1.	Porovnání dat.....	38
7.2.	Analýzy viditelnosti	38
7.2.1.	Analýzy viditelnosti na jednotlivých lokalitách	41
7.3.	Vliv vzdálenosti aktualizace dat	43
7.3.1.	Vliv vzdálenosti aktualizace na jednotlivých lokalitách	43
7.4.	Vizuální zhodnocení viditelnosti	46
7.4.1.	Lokalita č. 1	46
7.4.2.	Lokalita č. 2	46
7.4.3.	Lokalita č. 3	46
8.	DISKUSE	48
8.1.	Stáří dat	48
8.2.	Aktualizace dat.....	48
8.3.	Prostorové rozlišení dat.....	49
8.4.	Tvorba digitálních modelů povrchu.....	50
9.	ZÁVĚR.....	52
10.	SEZNAM LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	53
11.	PŘÍLOHY	62

1. ÚVOD

V dnešní době se s nárůstem množství geografických dat a technologických možností stává studium viditelnosti stále důležitějším tématem v oblasti geografických informačních systémů a geografie obecně. Schopnost analyzovat, interpretovat a vizualizovat viditelnost z určitého místa může mít zásadní dopad na plánování krajiny, urbanistický design, ale i bezpečnost a další oblasti lidského života (Xu & Yao, 2009; Peter et al., 2018; Inglis et al., 2022).

Při provádění analýz viditelnosti se velmi často můžeme setkat s daty, která z mnoha důvodů nemusí nutně odpovídat skutečnosti. Stáří dat, nebo jejich prostorové rozlišení, tak mohou výrazně ovlivnit výsledky prováděných analýz (Lagner et al., 2018; Mikita et al., 2023). Silným vliv na viditelnost má právě stáří dat. Podle některých autorů je hlavní příčinou změn výšky povrchu růst nebo odstraňování vegetace, za kterým stojí z velké míry člověk (Mikita et al., 2023; Růžičková et al., 2023). Jiné studie pak poukazují vedle stáří také na kvalitu vstupních dat (Lagner et al., 2018). Mimo to existuje několik přístupů k vytvoření digitálních modelů terénu, které slouží jako podklad k provedení analýzy. Nejvhodnější jsou digitální modely vytvořené pomocí leteckého laserového skenování, nicméně pořízení takových dat je finančně náročné, samotná data kromě toho nejsou dostupná pro řadu oblastí (Lagner et al., 2018; Mikita et al., 2023). Velmi často tak bývají využívány jiné, volně dostupné modely, alternativně jsou vytvářeny kombinací více datových sad. Tyto modely však mívají horší prostorové rozlišení a polohovou přesnost.

Aktualizace daty pořízených bezpilotními leteckými prostředky (UAV) může tyto problémy zmírnit, nebo zcela odstranit. Pomocí UAV lze získat aktuální data s velmi vysokým prostorovým rozlišením, a to během relativně krátké doby (Bhagat et al., 2019). Jelikož je viditelnost nejvíce ovlivněna objekty v blízkém okolí pozorovatele, není nutné zpřesňovat data pro rozsáhlejší území (Bartie et al. 2010). Doposud však není známo, na jakou vzdálenost je vhodné data aktualizovat, respektive jak široké okolí pozorovatele má vliv na výslednou viditelnost.

Pro validaci viditelnosti jsou často využívány statistické metriky v kombinaci s indexy vyjadřující podobnost mezi referenčním a analyzovaným modelem. Příkladem takového indexu může být například Kohenův kappa koeficient (Cohen, 1960) či Matthewsův korelační koeficient (Chicco et al., 2021). Téměř žádný výzkum však neprovádí vizuální hodnocení přímo na zkoumaných lokalitách, což může být důležitým faktorem při posouzení výsledků viditelnosti.

2. CÍLE PRÁCE

Hlavním cílem práce je zjistit, jaký vliv má aktualizace prostorových dat na výsledky analýzy viditelnosti. Aktualizace je provedena pomocí dat získaných bezpilotními leteckými prostředky s vyšším rozlišením, než mají volně dostupné digitální modely. Jako jeden z vedlejších cílů je získat informace o tom, jak jsou výsledky ovlivněny vstupními daty, například jejich stářím nebo rozlišením, a to porovnáním statistických parametrů jednotlivých modelů. Druhým vedlejším cílem je určení vzdálenosti, při které je vliv aktualizace daty pořízených UAV na výsledek analýzy viditelnosti signifikantní, tedy jak moc se mění viditelné a neviditelné plochy při aktualizaci dat v různé vzdálenosti od pozorovatele.

3. LITERÁRNÍ REŠERŠE

Analýzy viditelnosti jsou v geografických informačních systémech využívány k lokalizování viditelných a neviditelných oblastí z vybraného pozorovacího místa (*Mikita et al., 2016*). První zmínka o tomto typu analýzy sahá do roku 1967, kdy byl prvně definován termín "viewshed" jakožto geografický region viditelný z vybrané lokality (*Tandy, 1967; Wu, 2023*). Podle *Sardon (2016)* bývá zkoumané území při provedení analýzy rozděleno do dvou kategorií – viditelné oblasti zahrnují všechny okolní body, jejichž viditelnosti není při pohledu z pozorovatele v přímé linii přerušena. Do neviditelných oblastí (non-visible areas) poté spadají body, které jsou při pohledu z pozorovacího místa za obzorem nebo jsou překryty terénem a jinými prvky, které se na zemském povrchu mohou vyskytovat (například budovy, stromy). *Sardon (2016)* taktéž uvádí, že viditelné oblasti mohou odkazovat na území, ze kterých je pozorovací lokalita viditelná.

Tento typ analýzy však není nejlepším prostředkem v případě, kdy je pozorovatelem člověk. Podle *Nutsford et al. (2015)* je totiž vizuální důležitost člověkem vnímaného terénu ovlivněna dvěma faktory – vzdáleností mezi vnímaným objektem a pozorovatelem a vertikálním rozměrem terénu (například sklon svahu).

Domingo-Santos & De-Villarán (2016) uvádí, že bližší viditelné objekty mají na viditelnost vyšší vliv v porovnání s objekty dále od pozorovatele. V závislosti na vzdálenosti objektů od člověka tak lze definovat 3 zóny viditelnosti. Nejbližší okolí pozorovatele, kde lze jasně určit a odlišit jednotlivé objekty je označováno jako popředí. Ve středně vzdáleném okolí se začíná vytrácet ostrost jednotlivých objektů a směrem k vnějšímu okraji této zóny je složitější je od sebe rozlišit. Poslední zóna, rovněž nazývaná jako pozadí, začíná v místech, kde již objekty splývají a jsou rozpoznatelné pouze širší rysy krajiny, jako jsou pohoří, či ucelené lesní plochy (*Nutsford et al., 2015*). Podle *Nutsford et al. (2015)* však tyto tři zóny nemají pevně stanovenou vzdálenost, a jejich hranice jsou velmi často určovány vnějšími podmínkami, například klimatickými podmínkami nebo charakteristikou prostředí. Mimo vzdálenosti je vizuální důležitost terénu ovlivněna svažitostí terénu, orientací svahu nebo relativní nadmořskou výškou vůči pozorovateli.

3.1. Využití analýzy viditelnosti

Analýzy viditelnosti, ve studiích často označovány zjednodušeně jako "viewshed", mají širokou škálu využití v prostředí geografických informačních systémů (GIS) (*Nutsford et al., 2015*). Vojenské využití je jedním z hlavních oborů, ve kterém je viewshed nejčastěji využíván (*Xu & Yao, 2009*).

Mezi další pole využití poté patří bezpečnost (*Peter et al., 2018*), radiokomunikace (*Gbedel & Adeniyi, 2022*), umístování větrných elektráren (*Alphan, 2021*), nebo archeologii (*Jones, 2007*), ekoturismus (*Da Silva et al., 2020*) či plánování krajiny a urbanismus (*Inglis et al, 2022*).

3.1.1. Vojenské využití

Analýzy viditelnosti jsou pro potřeby armády a bezpečnosti využívány různorodě. Jeden z účelů využití spočívá v řešení strategického umístění vojenských objektů, kde je schopnost vizuálně pokrýt okolní krajinu klíčovým hlediskem. Podle *Rua et al. (2013)* bylo v mnoha případech prokázáno, že obranné systémy v průběhu dějin využívaly své postavení vzhledem k okolnímu terénu k optimalizaci své účinnosti. Obranné objekty umístěné ve vyšších nadmořských výškách jsou umístovány tak, aby vizuálně pokryly co největší množství okolí. U objektů položených v nížinách jsou naopak kladeny silné nároky na co nejmenší viditelnost a zjistitelnost těchto objektů (*Smith & Cochrane, 2011; Rua et al., 2013*).

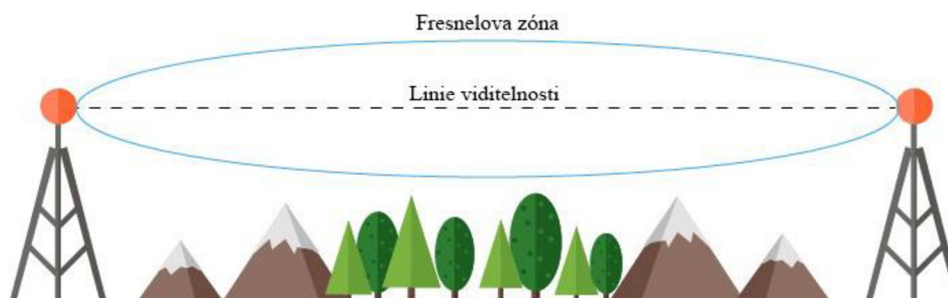
Dále jsou analýzy viditelnosti nedílnou součástí plánování vojenských operací, kdy slouží jako primární nástroj pro zhodnocení terénu (*Reichbourg et al., 1995*). Například při plánování leteckých manévrů nebo letecké obrany se však setkáváme s jistými omezeními, kdy je uživatel při analyzování vizuální vystavenosti prostředí limitován pouze na jednu hodnotu výšky letadla nad zemským povrchem. Pro plánování je však potřeba získat hodnoty pro všechny možné výšky letadla – k tomu slouží tzv. complete-viewshed, který iteruje výpočet přes všechny úrovně tzv. vzdušné vrstvy (*Jablonski & Alt, 2019*).

Bezpečnost je dalším z odvětví, ve kterém jsou analýzy viditelnosti využívány v hojném počtu. Ve většině případů se jedná o specifikaci rozmístění bezpečnostních prvků – kamerových systémů v okolí objektu či vytipování míst pro odstřelovače v případě mimořádných událostí (*Majumdar, 2021*).

3.1.2. Radiokomunikace

V oboru radiokomunikací jsou analýzy viditelnosti často označovány termíny "Commshed" nebo "Communication Viewshed" (*Popelka & Vozenilek 2010*). Primárním účelem těchto analýz je lokalizace vhodných míst pro umístění vysílačů a určení pokrytí signálem (*Kidner et al., 1999*). *Kidner et al. (1999)* rovněž uvádí, že prostředí GIS poté umožňuje zkoumat různé statistiky v závislosti na umístění vysílače – počet přijímačů umístěných pod a nad minimální silou signálu, počet budov zasážených signálem nebo demografickou strukturu obyvatel v oblasti pokrytí.

V případě provedení analýzy mezi vysílacími věžemi je mimo přímou linii viditelnosti mezi vysílači důležité analyzovat i její okolí. Tato zóna je označována jako "Fresnelova zóna". Jak uvádí *Popelka & Vozenilek (2010)*, mimo volný prostor mezi oběma místy je rovněž zapotřebí uvolněný prostor v rámci Fresnelovy zóny, jinak může docházet k oslabení přenášeného signálu.



Obrázek 1: Vyobrazení LOS a Fresnelovy zóny mezi radiokomunikačními vysílači (*Tekon Electronics, 2023*)

3.1.3. Plánování krajiny a urbanismus

Je stále více uznáváno, že urbanistické plánování a design městských prostor mohou mít významný vliv na zdraví a blahobyt obyvatel. Rozvoj městské zeleně, design parků a vhodná infrastruktura v okolí může podporovat aktivní životní styl a tím přispět ke zlepšení celkového zdraví populace (*Honold et al., 2016*). Cílem plánování krajiny je kromě vymezení a zhodnocení vizuálního okolí pozorovatele zároveň vyhodnocení vlastností krajiny, jako je typ vegetace, její barva, nebo její rozsáhlost (*Wilson et al., 2008*). Toho je dosaženo kombinací provedení analýzy viditelnosti, většinou z většího množství pozorovacích míst, spolu s prostorovou analýzou dalších zaznamenaných a vnímatelných prvků (například uspořádání krajiny, typ pokrytí povrchu, heterogenita krajiny). Některé studie pak ukazují, že pro pozitivní vnímání prostředí člověkem jsou rozsah viditelnosti a panoramatické pohledy jedny z nejpodstatnějších faktorů (*Tabirizan et al., 2020*).

V rámci urbanismu bývají často analýzy viditelnosti používány v případě plánování výstavby průmyslových oblastí a podobných rozsáhlých staveb, které mohou narušit viditelnost. Výsledky mohou určovat, do jaké míry bude blokován výhled na okolní krajinu nebo panorama. Obdobné analýzy bývají doplněny foto vizualizací nebo studií z určitého stanoviště, aby byl vliv změny panoramatu zobrazen co nejpřehledněji (*Popelka & Vozenilek 2010*).

3.2. Metody výpočtu analýzy viditelnosti

V aplikacích GIS existuje velké množství metod a přístupů k provedení analýzy viditelnosti. Podle *Popelka & Vozenilek (2010)* existují tři hlavní metody pro výpočet analýzy viditelnosti s rozdílným označením v závislosti na používané aplikaci. Mezi tyto funkce patří Line of Sight, Viewshed a Visibility. Pro sjednocení terminologie byly použity názvy adekvátních funkcí nabízených v aplikaci ArcGIS Pro 3.2 od společnosti Esri. Tyto funkce se mezi sebou odlišují použitím rozdílných vstupních dat, zadávaných parametrů (výška pozorovatele, rádius okolí pozorovatele, úhel pozorování a další), či rozdílnými výstupy (rastr viditelnosti, frekvence viditelných míst z různých pozorovacích míst), které z nich lze generovat (*GIS Geography, 2023; Esri, 2023*). Mezi další metody pro vytvoření analýzy viditelnosti patří mimo jiné i graf viditelnosti, který vzniká propojením míst ve 2D nebo 3D prostředí v závislosti na tom, zda je každé místo viditelné z ostatních (*O'Sullivan & Turner, 2001*). V současnosti existují taktéž možnosti výpočtu viditelnosti nebo charakteristik horizontu bez nutnosti použití GIS aplikací. Samotná analýza může být provedena v rozhraní webového prohlížeče. Mimo to mohou být analýzy viditelnosti prováděny i v rozhraní aplikací, které nejsou primárně určeny pro zpracování prostorových dat, například v software RStudio (*Arnon et al., 2023*).

3.2.1. Line of Sight

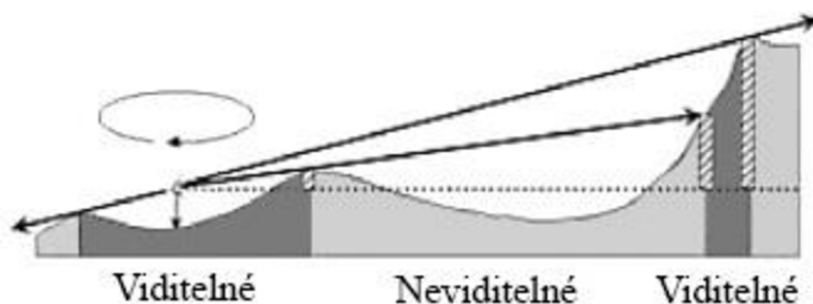
Analýza prováděna touto metodou určuje, zdali jsou dva body v prostoru navzájem viditelné. Výsledky této analýzy slouží jako základ pro vytváření planimetrických map znázorňujících viditelné oblasti z místa pozorování (*Germino, 2001*). V software ArcGIS Pro je funkce Line of Sight (LOS) členěna na dvě odlišně se chovající funkce – Linear Line of Sight (LLOS) a Radial Line of Sight (RLOS).

Linear Line of Sight vytváří linii viditelnosti mezi pozorovatelem a cílovým bodem (*Esri, 2024*). Mimo to je linie klasifikována na segmenty, které jsou z místa pozorovatele viditelné a na segmenty, které viditelné nejsou. Obě kategorie jsou na výsledné linii barevně odlišeny (*Dodd, 2001; Esri, 2024*). Podle *Popelka & Vozenilek (2010)* se rovněž v některých aplikacích tato metoda spojuje s profilem terénu, což umožňuje barevně odlišit nejen úsečku, ale i křivku reprezentující tento profil. LLOS dokáže pracovat i s více než dvěma vstupními pozorovateli nebo cílovými body. V případě použití více vstupních bodů je tak každý pozorovatel propojen linií viditelnosti s každým cílovým bodem (*Esri, 2024*).

Radial Line of Sight oproti LLOS nevytváří linii mezi pozorovatelem (nebo více pozorovateli) a cílovými body, ale detekuje viditelné oblasti z jednoho, nebo více pozorovacích míst (Esri, 2024). Tato metoda analýzy viditelnosti se tak principiálně podobá spíše funkci "Viewshed", která je popsána v následující kapitole.

3.2.2. Viewshed

Jak již bylo zmíněno výše, funkce "Viewshed" definuje plochy, které jsou viditelné z jednoho či více pozorovacích míst (Esri, 2024). Algoritmus definuje viditelnost každé buňky porovnáním úhlu nadmořské výšky ke středu buňky s úhlem nadmořské výšky k místnímu obzoru. Místní obzor je vypočten s ohledem na terén mezi bodem pozorování a aktuálním středem buňky. Pokud bod leží nad místním obzorem, je považován za viditelný (Esri, 2024). Jinými slovy, jak také uvádí Popelka & Vozenilek (2010), pro určení, zdali je cílová buňka rastru viditelná, je mezi buňkou pozorovatele a cílovou buňkou vykreslena linie viditelnosti. Pokud se na spojnici mezi těmito body nachází buňka s vyšší hodnotou výšky, než je v tomto bodě výška linie viditelnosti, dojde k přerušení viditelnosti a cílová buňka nabývá hodnoty 0, tedy "neviditelná". Tento proces se opakuje pro každou buňku, dokud není každé jedné buňce přiřazena jedna z hodnot "viditelná" (Visible), nebo "neviditelná" (Not Visible) (Kim et al., 2004).



Obrázek 2: Princip analýzy typu viewshed (Verutes et al., 2014)

Výsledky funkce viewshed mohou být dále ovlivněny množstvím vstupních parametrů, které mohou být uživatelem zahrnuty do výpočtu. Mezi tyto parametry patří například tzv. "offset", který určuje vertikální odsazení pozorovatele od zemského povrchu (Esri, 2024). Dále je možné omezit rádius zkoumaného území. Například podle Union (2015) mají vysokofrekvenční radiové věže, jejichž signál se šíří na principu linie viditelnosti, dosah přibližně 100 km. V závislosti na velikosti zkoumaného území tedy lze omezit provedení analýzy jen na vymezený okruh vzdálenosti (Esri, 2024). Analýza může být taktéž vymezena jen pod určitými úhly pozorování – po zadání intervalu je analýza provedena jen v rozmezí těchto úhlů (Esri, 2024).

3.2.3. Visibility

V jiných aplikacích, než je ArcGIS Pro bývá tato funkce rovněž nazývána "Multiple Viewshed" (Popelka & Vozenilek, 2010). Mimo analýzy vstupního rastru a zjištění viditelných a neviditelných ploch lze pomocí této metody určit, z kolika pozorovacích bodů jsou jednotlivé buňky rastru viditelné (v případě, kdy do výpočtu vstupují data s více pozorovateli) (Esri, 2024).

Algoritmus postupuje při zjišťování viditelných ploch stejně, jako u funkce "Viewshed". Definuje tedy oblasti, které jsou spojeny nenarušenou linií pohledu a ty označí jako viditelné. V případě, kdy je nastaven parametr typu analýzy na hodnotu "observers", dojde k definování viditelných a neviditelných ploch pro každý pozorovací bod (Esri, 2024). Výsledný rastr je následně získán překryvem dílčích výstupů viditelnosti z jednotlivých pozorovatelů. Tento rastr obsahuje všechny možné kombinace viditelnosti ze všech pozorovacích lokalit. Jsou v něm vyjádřeny oblasti, které nejsou vidět z žádného pozorovatele až po oblasti viditelné ze všech pozorovatelů. Obdobným způsobem s daty pracuje funkce Geodetic Viewshed, která navíc poskytuje zlepšenou funkcionalitu a výkon (Esri, 2024). Funkce visibility je taktéž využívána k výpočtům analýzy v praktické části této práce.

3.2.4. Visibility Graph

První zmínky o použití konceptu grafu viditelnosti GIS se objevují v kontextu určování preferovaných cest přenosu komunikačních vysílačů pomocí linie viditelnosti (De Floriani et al., 1994). Graf viditelnosti vzniká propojováním míst v prostředí podle toho, jak jsou vzájemně viditelná. Výsledný graf se skládá ze dvou vektorů – vektor uzlů (nodes), představující body, které jsou navzájem viditelné a vektor dílčích propojení (edges), spojující jednotlivé uzly (O'Sullivan & Turner, 2001). O'Sullivan & Turner (2001) rovněž uvádějí, že v prostředí krajiny vznikají většinou komplexnější grafy se značnějším počtem propojených bodů, ze kterých lze získat důležité charakteristiky o krajině, nebo které mohou sloužit jako pomůcky k analýzám, které by nebylo možné provést za pomoci funkcí Viewshed.

Grafy viditelnosti jsou rovněž často využívány pro navigaci robotů v komplexnějších 2D a 3D prostorech. Pomocí grafu viditelnosti se zjišťuje optimální trasa mezi body v prostoru prostřednictvím propojených uzlů, které jsou navzájem viditelné (Jiang et al., 1999).

3.2.5. Geoprocessingové služby

Služby geografického zpracování umožňují uživatelům vypočítat viditelnost přímo v prostředí webového prohlížeče, čímž se opadá potřeba stahovat aplikaci, nebo vlastnit licenci. Tuto možnost poskytuje pro celé území České republiky Český úřad zeměměřický a katastrální (ČÚZK). V geoportálu ČÚZK jsou nabízeny 3 typy analýz – výpočet pole a obzoru viditelnosti, výpočet linie viditelnosti mezi dvěma body a konstrukce výškového profilu. Kromě těchto výpočtů je možné pro vybraná data analyzovat vlastnosti reliéfu (ČÚZK, 2019).

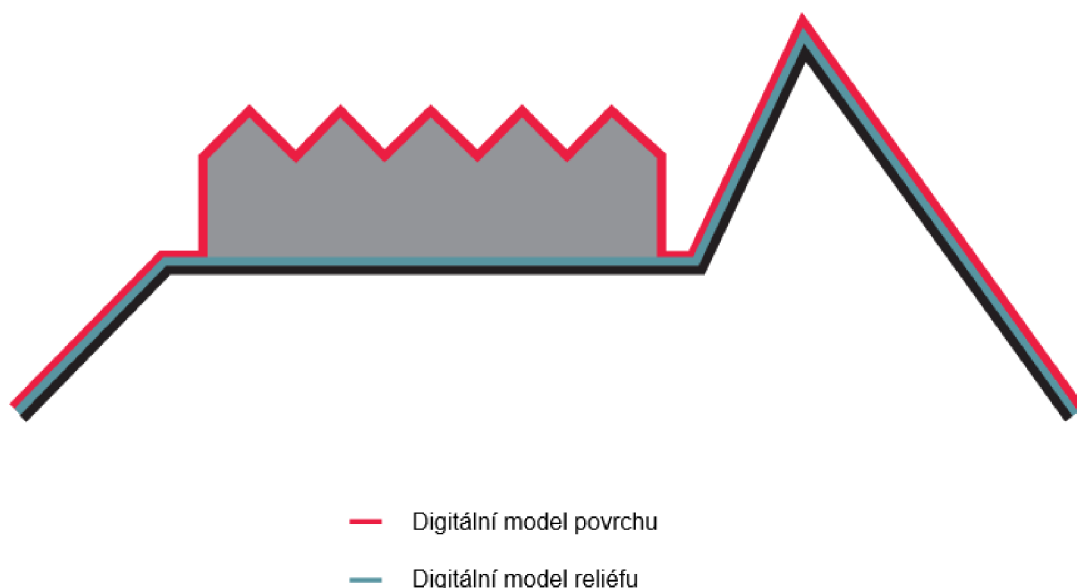
V případě výpočtu pole viditelnosti se jedná o analýzu, která identifikuje vizuálně dostupné oblasti terénu z určeného pozorovacího místa v rozsahu stanovené vzdálenosti (ČÚZK, 2023). Součástí této analýzy může být rovněž výpočet grafu zakrytí obzoru, který znázorňuje místa, na kterých je viditelnost přerušena, spolu s uvedením vzdálenosti od místa pozorovatele. Graf zakrytí obzoru zároveň zobrazuje úroveň zastínění obzoru (tj. míru, do jaké je obloha zakryta, vyjádřenou ve stupních) v závislosti na azimutu až do stanovené vzdálenosti. Jinými slovy, graf ukazuje, jak moc je nebe zakryto v určitém směru na danou vzdálenost (ČÚZK, 2023).

Druhou z analýz je výpočet linie viditelnosti mezi dvěma body. Tento nástroj umožňuje mimo zjištění přímé viditelnosti mezi těmito body také vyhodnocení viditelných a neviditelných částí terénu na linii vykreslené mezi těmito body (ČÚZK, 2023). Nástroj je založen na principu LLOS, který je rozebírán v dřívější kapitole. Poslední z poskytovaných analýz je tzv. SkyLineGraph, která konstruuje výškový profil po zadané linii (ČÚZK, 2023).

Podkladem pro výpočet výsledků výše zmíněných služeb jsou digitální modely terénu pořízené na území České republiky – digitální model povrchu 1. generace a digitální modely reliéfu 4. a 5. generace. Veškeré analýzy prováděné v rozhraní geoportálu ČÚZK jsou poté založeny na službách ArcGIS poskytovaných společností Esri (ČÚZK, 2023).

3.3. Využívaná data

Jak již bylo zmíněno v úvodu této kapitoly, při výpočtu viditelnosti se rozdělují oblasti v okolí pozorovatele do dvou kategorií – viditelné a neviditelné. Pro potřeby analýzy viditelnosti jsou využívána data znázorňující výškové poměry v rámci zkoumaného území, většinou uložená v rastrové podobě (Mikita *et al.*, 2023). Hodnoty jednotlivých buněk jsou aproximací vertikální vzdálenosti mezi body na zemském povrchu a určitým referenčním povrchem. Tímto povrchem může být hladina moře, elipsoid či geoid (Hirt, 2016). Jak uvádí Mikita *et al.* (2023), jsou tato data obecně označována jako digitální modely terénu (DMT), nicméně existuje podrobnější členění, a to na digitální modely reliéfu (DMR) a digitální modely povrchu (DMP).



Obrázek 3: Vyobrazení rozdílu mezi digitálními modely povrchu a terénu (Croneborg *et al.*, 2020)

Data s informacemi o terénu bývají nejčastěji uložena v podobě pravidelné mřížky, nepravidelně rozmístěných bodů ve 2D prostoru či nepravidelné trojúhelníkové sítě (TIN) (Li *et al.*, 2004). Je nutné podotknout, že TIN je produktem triangulace nepravidelně rozmístěných bodů, jejímž cílem je vytvořit co nejvíce rovnostranné trojúhelníky. Výsledkem je síť nepravidelných trojúhelníků, reprezentující nejen výšku povrchu, ale také vztahy mezi jednotlivými body, tj. sklon a orientaci plošek v prostoru (Oršulák & Pacina, 2012). TIN taktéž umožňuje zobrazení zlomů terénů (údolí, hřebeny hor), ale i extrémních lokalit, jako jsou například vrcholy hor. V porovnání s ostatními způsoby reprezentace terénu je však TIN komplexnější a náročnější na interpretaci (Hirt, 2016).

Jak již bylo zmíněno výše, pro výpočet analýz viditelnosti v prostředí GIS i mimo něj jsou nejčastěji využívána data v podobě pravidelné mřížky – rastru (*Mikita et al., 2023*). Rastry bývají odvozeny z TIN, popřípadě bodových měření či vrstevnic. K získání hodnot jednotlivých buněk rastru jsou využívány různé interpolační metody, podle studie *Arun (2013)* jsou nevhodnějšími metodami Kriging či Inverse distance weighting (IDW), nicméně některé další metody mohou být vhodnější v závislosti na charakteristice prostředí.

3.3.1. Digitální model reliéfu

Digitální model reliéfu reprezentuje přirozený, nebo lidskou činností upravený zemský povrch bez objektů nacházejících se na něm (*ČÚZK, 2023*). Jelikož největším faktorem ovlivňujícím viditelnost je struktura zemského povrchu, bývá tento typ modelu využíván především pro analýzy viditelnosti menšího detailu s vyšším prostorovým rozsahem (*Inglis et al., 2022*).

3.3.2. Digitální model povrchu

Zatímco digitální model reliéfu reprezentuje pouze zemský povrch, digitální modely povrchu reflektuje rovněž výšky vegetace nebo objektů (budovy, stožáry vysokého napětí), které se na povrchu nacházejí (*Hirt, 2016*). Podle *Inglis et al. (2022)* je toto primární důvod, proč je tento typ modelů preferován při provádění analýzy viditelnosti. Digitální modely povrchu používané pro potřeby analýz viditelnosti mohou být do jisté míry tvořeny kombinací DMR a vrstvami reprezentujícími vegetaci a budovy. Tyto vrstvy mohou být získány buď v podobě rastru znázorňujícího model výšky vegetace (*Mikita et al., 2023*), nebo mohou být převedeny do vektorové podoby a následně jim přiřazena výška (*Lagner et al., 2018*). Podle *Lagner et al. (2018)* je však pro odhad výšky vegetace nezbytné mít znalost o místní struktuře vegetace, případně se odkázat na další studie, zabývající se touto problematikou v dané lokalitě.

3.4. Metody sběru dat

Existuje velké množství způsobů, jak obstarat výšková data. Podle způsobu pořízení však můžeme rozdělit metody do 2 základních kategorií – přímé metody, které se dále dělí na kontaktní a bezkontaktní, a nepřímé (Oršulák & Pacina, 2012).

Mezi přímé kontaktní metody patří pozemní sběr dat geodetickým měřením (nivelace, tachymetrie), pomocí kterého lze dosáhnout až milimetrové přesnosti, nicméně kvůli své časové náročnosti je tento způsob limitován na jednotlivá měření nebo velmi malé oblasti (Oršulák & Pacina, 2012).

V porovnání s kontaktními metodami jsou bezkontaktní způsoby sběru dat mnohem efektivnější, především díky schopnosti senzorů umístěných na nosičích v leteckém prostoru nebo ve vesmíru získávat data pro rozsáhlejší území za relativně krátkou dobu (Hirt, 2016). Jak ale uvádějí Oršulák & Pacina (2012), zvýšená efektivita je vykoupena nižší přesností. Ke tvorbě digitálních modelů pro rozlehlejší oblasti jsou nejčastěji využívány metody dálkového průzkumu Země – Radio Detection and Ranging (RADAR), Light Detection and Ranging (LiDAR) nebo zpracování snímků pomocí fotogrammetrie (Hirt, 2016; Mikita et al., 2023).

Poslední možností tvorby digitálních modelů jsou nepřímé metody. Tento způsob zpracovává již vytvořená výšková data v podobě výškopisu analogových map (vrstevnice, kóty), které je nutné převést z analogového stavu do stavu digitálního. Výsledná přesnost modelu se tak odvíjí od měřítka a polohové přesnosti zdrojových map (Oršulák & Pacina, 2012).

Tabulka 1: Shrnutí metod pořízení výškových dat (Oršulák & Pacina, 2012)

Metoda	přesnost	Rychlost	Cena	Velikost území
Nivelace	0,001 – 0,01 m	*	€€€€€€€	o
Tachymetrie	0,02 – 0,05 m	**	€€€€€	o
GPS	0,02 – 0,05 m	***	€€€€	o
Fotogrammetrie	0,2 – 0,5 m	*****	€€	O
InSAR	5 m změny 1 cm	*****	€	OO
Radarové snímání	20 – 70 m	*****	€	OO
LIDAR	0,1 – 0,2 m	*****	€€€	O
manuální vektorizace map	dle měřítka mapy	**	€€€	libovolně
automatická vektorizace map	dle měřítka mapy	****	€	libovolně

3.4.1. Fotogrammetrie

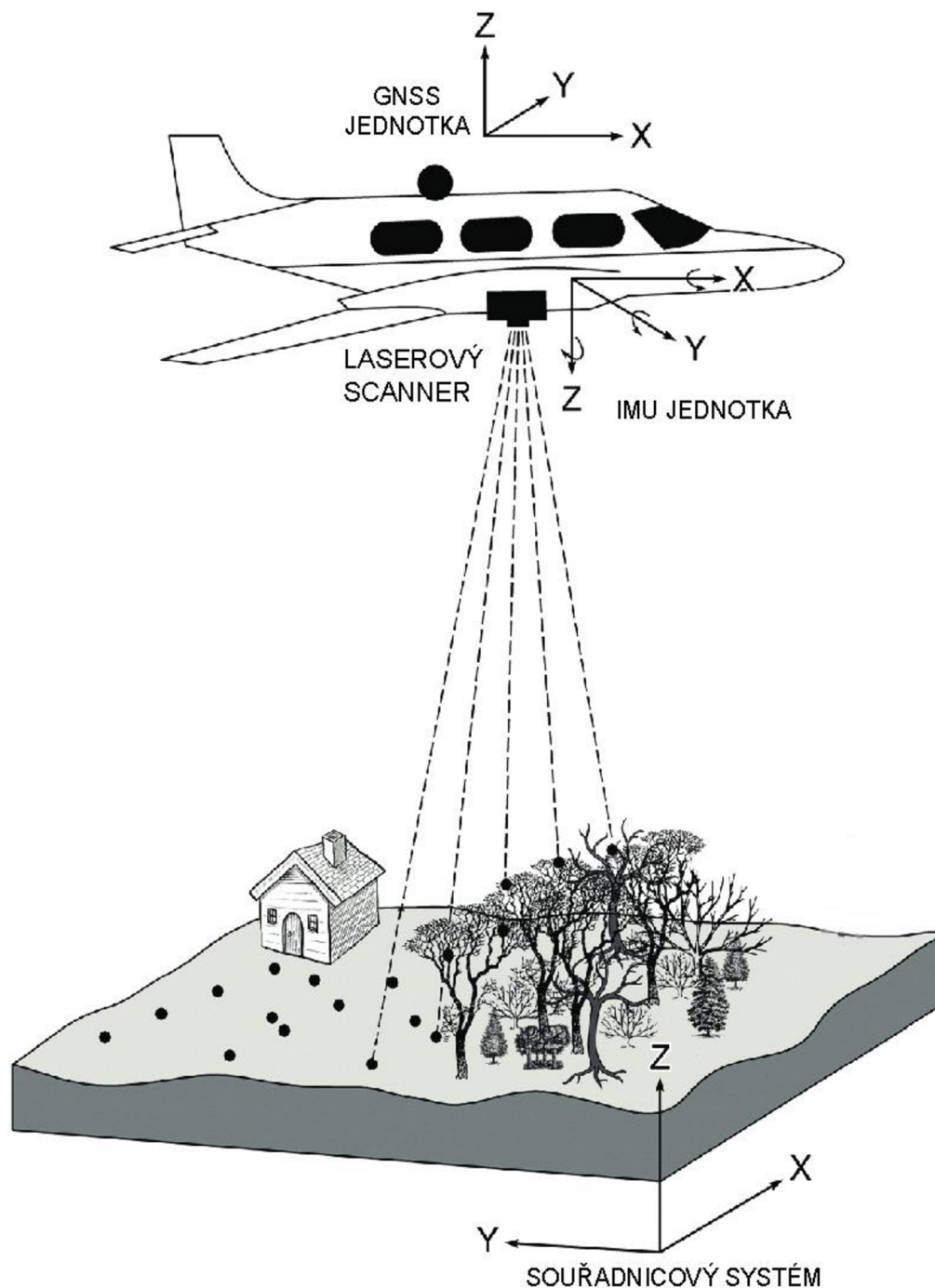
Fotogrammetrické metody využívají pro získání výšky terénu překrývající se dvojici snímků, zachycující zemský povrch z mírně odlišného úhlu (tzv. stereo pár). Tyto snímky jsou pořizovány s minimálním překryvem 60 % ve směru pořízení fotografií. Díky tomuto překryvu je zaručeno zachycení všech míst v zájmovém území vždy alespoň na 2 snímcích. Snímky jsou rovněž snímány s překryvem kolmo na směr letu, ovšem tento překryv je podstatně nižší, alespoň 20 %. (Oršulák & Pacina, 2012). Pomocí stereo páru lze zrekonstruovat tvar nebo výšku trojrozměrných objektů nacházejících se na povrchu (Schenk, 2005).

Při tvorbě digitálního modelu je prvním krokem blokové vyrovnání svazků, při kterém dochází k vyrovnání vnitřní a vnější orientace kamery. Vnitřní orientace kamery je určena pomocí kalibračních bodů na snímcích, zatímco k určení vnější orientace (vztah snímků vůči zachycenému 3D prostoru) jsou využívány tzv. vlíčovací body s přesně zaměřenou polohou, rozmístěné po celém zájmovém území (Tack et al., 2012; Stal et al., 2013; Gašparović et al., 2017). Následně dochází k zalícování jednotlivých snímků, z čehož je rekonstruován 3D prostor v rozhraní 2D snímků. K tomu jsou využívány algoritmy, které automaticky detekují odpovídající body nebo objekty na jednotlivých snímcích. Samotný model povrchu je posléze vypočten pomocí rozdílu mezi polohami stejných bodů na snímcích stereo páru (Stal et al., 2013).

3.4.2. LiDAR

Výšková data získaná touto metodou jsou nejčastěji využívána pro potřeby analýz viditelnosti. Primárním důvodem je přesnost, s jakou odpovídají realitě (Lagner et al., 2018; Inglis et al., 2022). Tato data mohou být získána leteckým nebo pozemním skenováním. Letecké skenování (ASL) dosahuje polohové přesnosti v řádu jednotek až nižších desítek centimetrů a lze jím pokrýt i rozlehlá území (Pyka et al., 2022; ČÚZK, 2023). Letecké skenování však poskytuje pouze informace o vertikální struktuře vegetace, v kombinaci s pozemním skenováním tak může být podle Pyka et al. (2022) tento nedostatek odstraněn. Pozemním skenováním lze dosáhnout mimo jiné i vyššího prostorového rozlišení. Při tomto typu pořízení dat je zařízení umístěno na zemském povrchu, což však limituje velikost skenovaného území, nebo dosah až do nejvyšších pater stromů (Zhang et al., 2017). Je možné kombinovat data získaná oběma metodami – výsledkem je nejen zvýšení rozlišení a přesnosti, ale i více informací o charakteru vegetace (Murgoitio et al., 2014).

Lidarové systémy patří mezi aktivní způsoby sběru dat – mají tedy vlastní zdroj energie. Zdrojem této energie je laser, vysílající soustředěný svazek paprsků směrem k zemskému povrchu. Při kontaktu s objekty na povrchu dojde k odražení paprsku zpět k nosiči, kde je návrat zaznamenán senzorem (GIS Geography, 2024). Paprsek se může od povrchu odrazit opakovaně, především v případě vzrostlé vegetace. Lze tedy získat informace nejen o výšce objektu, ale i o jeho struktuře. Nejdůležitějšími jsou však první a poslední odrazy, reprezentující výšku vegetace, resp. zemský povrch (Oršulák & Pacina, 2012; Hirt, 2016).



Obrázek 4: Princip leteckého laserového skenování s využitím LiDARového senzoru (Roman & Ursu, 2016)

Lidarové systémy měří dobu, která uplyne mezi odesláním paprsku a zachycením odražené energie senzorem (*GIS Geography, 2024*). Naměřený čas je potřeba podělit dvěma, jelikož signál putuje atmosférou dvakrát – nejdříve směrem k Zemi a pak zpět k nosiči. Protože se paprsek šíří rychlostí světla, lze při znalosti doby, za kterou došlo k návratu signálu, určit vzdálenost objektu od nosiče (*Wandinger, 2005; Yong, 2022*). Pro určení přesné polohy a výšky bodu odrazu je však nutné znát polohu nosiče. Ta je určena pomocí GNSS (globální navigační satelitní systémy) a IMU (Inertial Measurement Unit) jednotek umístěných na palubě nosiče (*Oršulák & Pacina, 2012*).

Lidarové jednotky mohou být umístěny i na družicích s orbitou v řádu stovek kilometrů. V porovnání s leteckým skenováním je stopa paprsku na zemském povrchu znatelně větší – v případě družicového Lidaru se jedná o desítky až stovky metrů. S tím je spojeno i nižší prostorové rozlišení a vyšší polohová chyba (*Yong, 2022*). Kosmický lidar je tak vhodný spíše pro modelování a sledování jevů na globální úrovni, například k tvorbě globálních modelů výšky vegetace (*Potapov, 2021*).

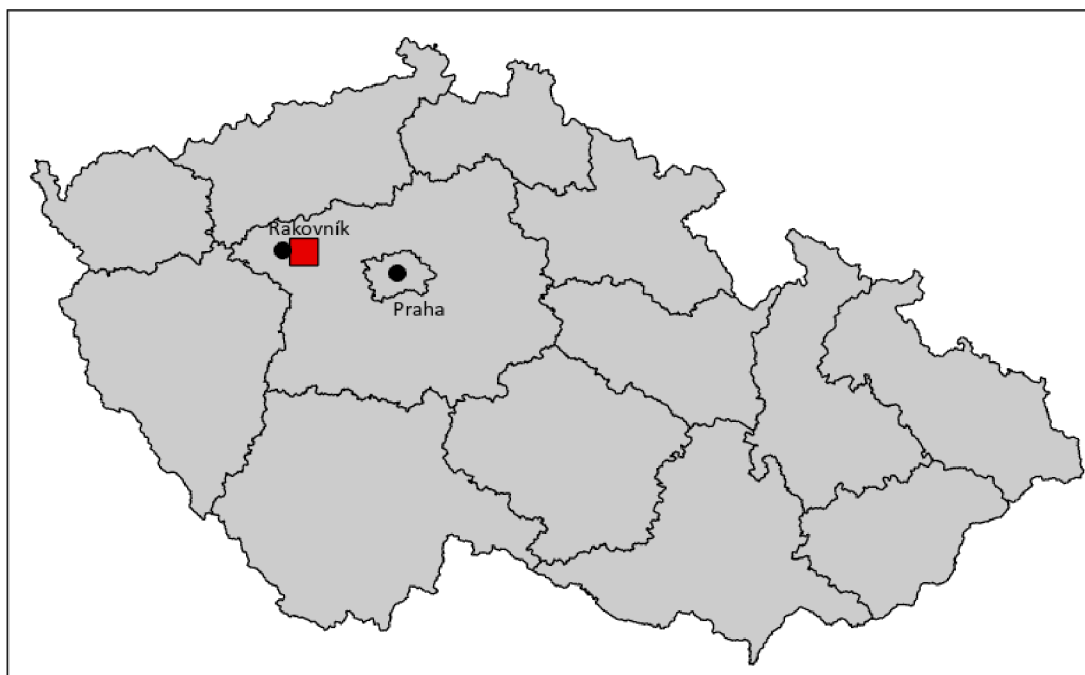
3.4.3. RADAR

Stejně jako Lidar lze i Radar zařadit do kategorie aktivních systémů. Zdrojem vysílaného elektromagnetického záření je v tomto případě anténa umístěná na nosiči. Oproti lidarů se vlnová délka radarového signálu pohybuje v rozmezí od 1 mm do 1 m. Jelikož se jedná o širokou část spektra, je radarový signál rozdělen do pásem – mezi nejčastěji využívaná pásma v kontextu dálkového průzkumu Země patří pásma X (2,4 – 3,75 cm), C (3,75-7 cm) a L (15-30 cm) (*Parker, 2017*).

V případě vesmírných družic, které jsou používány pro sběr výškových dat, se jedná o radar se syntetickou aperturou (SAR) – anténa je složena z velkého množství menších, elementárních antén (*Cutrona, 1990*). Na principu SAR funguje rovněž metoda Interferometrického SAR (InSAR). Ten využívá dvě antény SAR umístěné nedaleko od sebe. Každá z antén přijímá stejný signál s rozdílným fázovým posunem vln. Výška terénu je měřena rozdílem fáze pro každý z pixelů, čehož je využíváno při tvorbě digitálních modelů terénu (*Rabus et al., 2003*). Příkladem tohoto přístupu je mise SRTM z roku 2000, jejímž výsledkem bylo vytvoření digitálního modelu povrchu s prostorovým rozlišením 1 úhlové sekundy. Jak uvádí (*Rabus et al., 2003*), jedná se o první model, který dosáhl tohoto rozlišení.

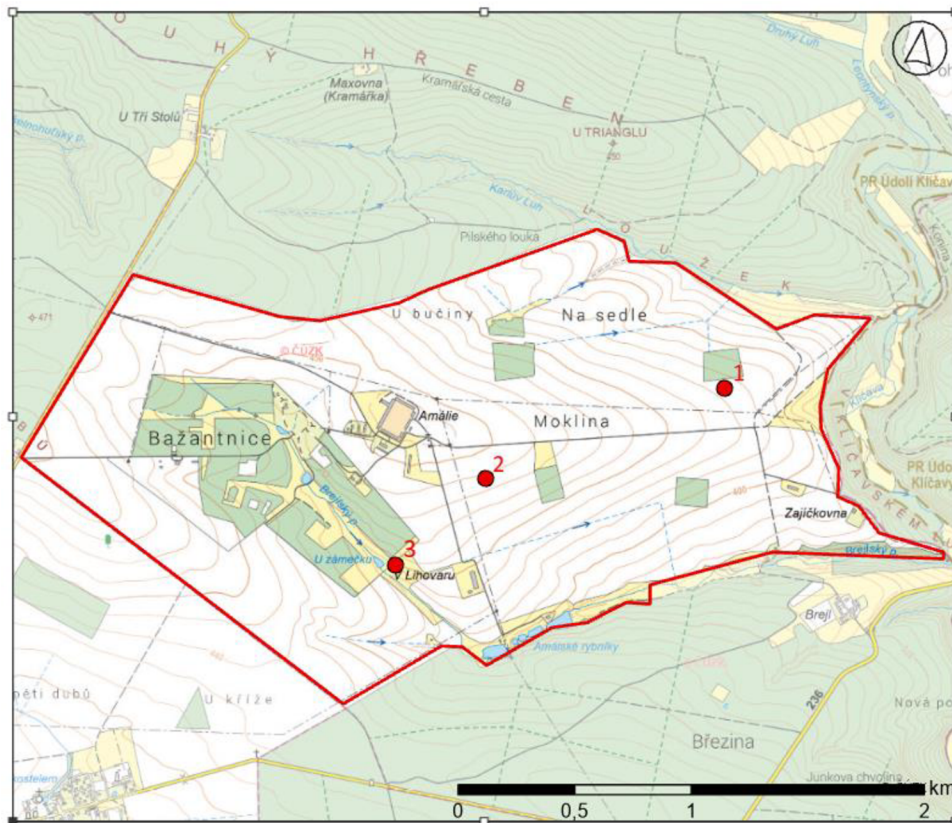
4. CHARAKTERISTIKA STUDIJNÍHO ÚZEMÍ

Analýzy viditelnosti byly provedeny na území a v blízkém okolí školního zemědělského podniku Lány – Amálie (ŠZP Amálie) ve středočeském kraji, nedaleko města Rakovník, přibližně 40 km západně od hlavního města Prahy (obrázek 5). V tomto areálu byly vybrány 3 zájmové lokality s rozdílnými přírodními podmínkami ve svém okolí. Těmito podmínkami jsou například vzdálenost nejbližší vegetace, výška vegetace, svažitost terénu a další. Na jednotlivých lokalitách byly pořízeny panoramatické fotografie (obrázek 7).



Obrázek 5: Zájmová lokalita ŠZP Amálie (červeně zvýrazněna) v rámci České republiky. (vlastní zpracování, zdroj dat: ČÚZK, 2024)

Lokalita č. 1 byla vybrána na vrchu mírně svažitého terénu, s výškou vegetace od 5 do cca 10 m ve vzdálenosti přibližně 30 m. Opačným směrem oproti vegetaci se ve výšce očí pozorovatele (přibližně 170 cm) nachází horizont svahu, který částečně limituje viditelnost tímto směrem (obrázek 7a). Lokalita č. 2 se taktéž nachází na mírném svahu, uprostřed pole s nejbližší vegetací vzdálenou 200 m východním směrem. Do zbylých směrů je výhled z lokality ničím nerušený (obrázek 7b). U 3. lokality jsou podmínky prostředí nejrozmanitější. Místo pozorovatele bylo umístěno do svažitého terénu, z jedné strany uzavíraným strmým svahem, z druhé lesy uvnitř areálu lánské bažantnice. Výhled je částečně blokován nízkým keřovým porostem vzdáleným přibližně 10 m od pozorovatele (obrázek 7c). Přesná poloha jednotlivých lokalit byla definována v aplikaci ArcGIS Pro 3.2, jako podklad bylo využito aktuální ortofoto vytvořené z dat UAV v dubnu roku 2023.



Obrázek 6: vyznačené lokality 1-3 na území ŠZP Amálie. (vlastní zpracování, zdroj dat: ČÚZK, 2024)



Obrázek 7: Panoramatické fotografie vyobrazující lokalitu č. 1 (a), lokalitu č. 2 (b), lokalitu č. 3 (c) (vlastní archiv autora)

5. DATA A METODIKA

5.1. Data

Jelikož se zájmové území nachází v silně měnícím se reliéfu oblasti Křivoklátska, bylo do výpočtů jednotlivých analýz zahrnuto i širší okolí ŠZP Amálie. Pro stažení dat byl vytvořen polygon o rozloze cca 190 km² v okolí zájmového území. Pro toto území byly následně získána veškerá data jednotlivých digitálních modelů. Všechna data byla pro účely této práce získána z volně dostupných zdrojů, resp. volně dostupných po registraci uživatele. Případná registrace však není zpoplatněna. Výjimku tvoří data zapůjčená Katedrou prostorových věd FŽP ČZU v Praze. Ta byla získána od vedoucího této práce, Ing. Ondřeje Lagnera Ph.D. Data se od sebe odlišují způsobem pořízení, prostorovým rozlišením, nebo časem pořízení. Podrobný přehled všech vstupních dat je vyobrazen v tabulce 1.

Tabulka 2: Popis vstupních Digitálních modelů terénu. (vlastní zpracování, zdroj dat: Lang et al., 2023; ČÚZK, 2024; Earth Data, 2024; ESA, 2024)

Název	Zdroj	Rok pořízení	Horizontální přesnost	Vertikální přesnost	Popis dat
DMP 1G	CUZK	2011	0.4-0.7 m	0.4-0.7 m	Bodové mračno pořízené laserovým skenováním na území ČR
DMR 5G + CHM	DMR 5G	CUZK	jen výškový dataset	0.18-0.3 m	Bodové mračno pořízené laserovým skenováním na území ČR
	CHM 2020	Lang et al.	2020	10-20 m	3 m
Copernicus DEM	ESA	2015	6 m	2-4m	Digitální model povrchu s prostorovým rozlišením 30m
SRTM 30	NASA	2000	20 m	16 m	Digitální model povrchu s prostorovým rozlišením 30m
UAV data	ČZU	2022	0.05 m	0.1 m	Digitální model povrchu s prostorovým rozlišením 16cm

5.1.1. Digitální model povrchu 1. generace

Prvním modelem je Digitální model povrchu 1. generace, vytvořený v rozpětí let 2009–2013. Jedná se o nepravidelnou síť výškových bodů, určenou k analýzám výškových poměrů se zahrnutím objektů na zemském povrchu, jako jsou stavby a rostlinný pokryv. Model vznikl metodou leteckého laserového skenování na území České republiky. Datová sada má vertikální přesnost 0,4 m pro pevně vymezené objekty (budovy), 0,7 m pak pro objekty neohraničené, jako je rostlinný porost (ČÚZK, 2023). Pro potřeby práce byl získán již hotový produkt v rastrové podobě s prostorovým rozlišením 2 m, v této práci označovaný jako DMP1G. Data byla pro oblast ŠZP Amálie nasbírána v roce 2011.

5.1.2. Digitální model reliéfu 5. generace + Canopy height model

Další z modelů byl vytvořen kombinací více datových sad. Základní komponentou je Digitální model reliéfu 5. generace. Jedná se stejně jako v případě

DMR1G o nepravidelnou síť diskrétních bodů. Model vznikl metodou leteckého laserového skenování s vertikální přesností výšek 0,18 m pro odkrytou část povrchu a 0,3 m v zalesněných oblastech. Pro zájmovou oblast byla data pořízena v roce 2011, pro účely práce byl z geoportálu ČÚZK získán již finální produkt v podobě rastru s prostorovým rozlišením 2 m (ČÚZK, 2023).

Aby mohl být model považován za DMP, bylo potřeba k modelu reliéfu přidat výšky vegetace a objektů, nacházejících se na zemském povrchu. Vegetace byla zastoupena globálním modelem vegetace Global Canopy Height 2020, vytvořeným skupinou vědců Nico Langem a Walterem Jetzem z Kodaňské univerzity a Konradem Schindlem a Janem Dirk Wegnerem z vysoké technické školy v Zurichu. Autoři vytvořili pravděpodobnostní model s pomocí hlubokého učení, který z Lidarových dat GEDI a optických dat Sentinel 2 vytvořil model výšky vegetace v globálním měřítku pro rok 2020 (Lang et al., 2023). Jedná se tak po UAV datech o nejnovější použitou datovou sadu v této práci, nicméně s horizontální přesností v rozpětí 10-20 m se jedná po datech SRTM o nejméně polohově přesnou datovou sadu. Výsledný model má mimo to prostorové rozlišení 10 m a vertikální přesnost 3 m (Lang et al., 2023).

Zbýlými objekty, které mohou zastínit viditelná místa, jsou budovy. Jelikož se v zájmové oblasti nenachází příliš velké množství budov, byla vrstva budov ručně vektorizována a následně převedena do rastrové podoby. Výšky těchto objektů byly pevně stanoveny na 8 m, jako v případě studie Lagner et al. (2018). Následně byly model vegetace a rastr budov přičteny k DMR5G, čímž byl získán výsledný digitální model povrchu, v této práci označovaný jako DMR5G + CHM, resp. DMR5G v pozdějších částech práce.

5.1.3. Copernicus DEM

Třetím modelem je Copernicus Dem, pracovníě označený jako Cop DEM. Model byl vytvořen v roce 2015 odvozením od modelu WorldDEM společnosti Airbus. Model WorldDEM je radarového původu, a byl vytvořen z dat mise TanDEM-X (Airbus, 2020). Jedná se o globální DMP s prostorovým rozlišením 30 m, horizontální přesností 6 m a vertikální přesností v rozpětí 2-4 m. Vertikální přesnost menší než 2 m lze očekávat u terénu se svažitostí do 20 %, u terénu se svažitostí přes 20 % lze očekávat přesnost do 4 m (ESA, 2024). Pro území, na kterých nebyla získána data mise TANDEM-X, byla využita k vyplnění mezer data misí ASTER, popřípadě SRTM. Cop DEM byl získán v podobě rastru zabírající území 100x100 km a následně oříznut pro zájmovou oblast. Jelikož se však jedná o globální model,

bylo potřeba změnit souřadnicový systém ze světového WGS 84 do souřadnicového systému používaného na území České republiky S-JTSK.

5.1.4. SRTM

Poslední volně dostupný model použitý v této práci je SRTM. Tento model vznikl na základě dat pořízených radarovou misí pod záštitou americké Národní geokosmické zpravodajské agentury (NGA) a amerického národního úřadu pro letectví a vesmír (NASA) v únoru roku 2000 (*Earth Data, 2024*). Ke sběru dat pro potřeby DMP bylo využito radarové pásmo C o vlnové délce 5,6 cm. Data byla sbírána pomocí dvou antén – jedna z antén byla umístěna přímo na palubě raketoplánu, druhá na 60 m dlouhé stěžni směřující volně do prostoru. Výsledný digitální model terénu vznikl pomocí radarové interferometrie (*Mukul et al., 2017*). Data byla získána ve formě rastru z platformy agentury United States Geological Survey (USGS). Jedná se tak jako u modelu Cop DEM o globální model používající světový souřadnicový systém, i zde tedy bylo potřeba převést rastr do souřadnicového systému S-JTSK.

5.1.5. UAV data

Území ŠZP Amálie bylo nalítáno v srpnu roku 2022. Snímky byly pořízeny pomocí senzoru SenseFly Duet T umístěném na křídle SenseFly eBee X společnosti SenseFly. Jedná se o duální kameru, obsahující tepelný infračervený senzor a RGB senzor S.O.D.A. 3D. K tvorbě digitálního modelu terénu byl využit RGB senzor, s rozlišením 20MPix (*AgEagle, 2024*). Území Amálie bylo nalítáno z výšky 300 m nad zemským povrchem, celá letová mise trvala necelé 3 hodiny.

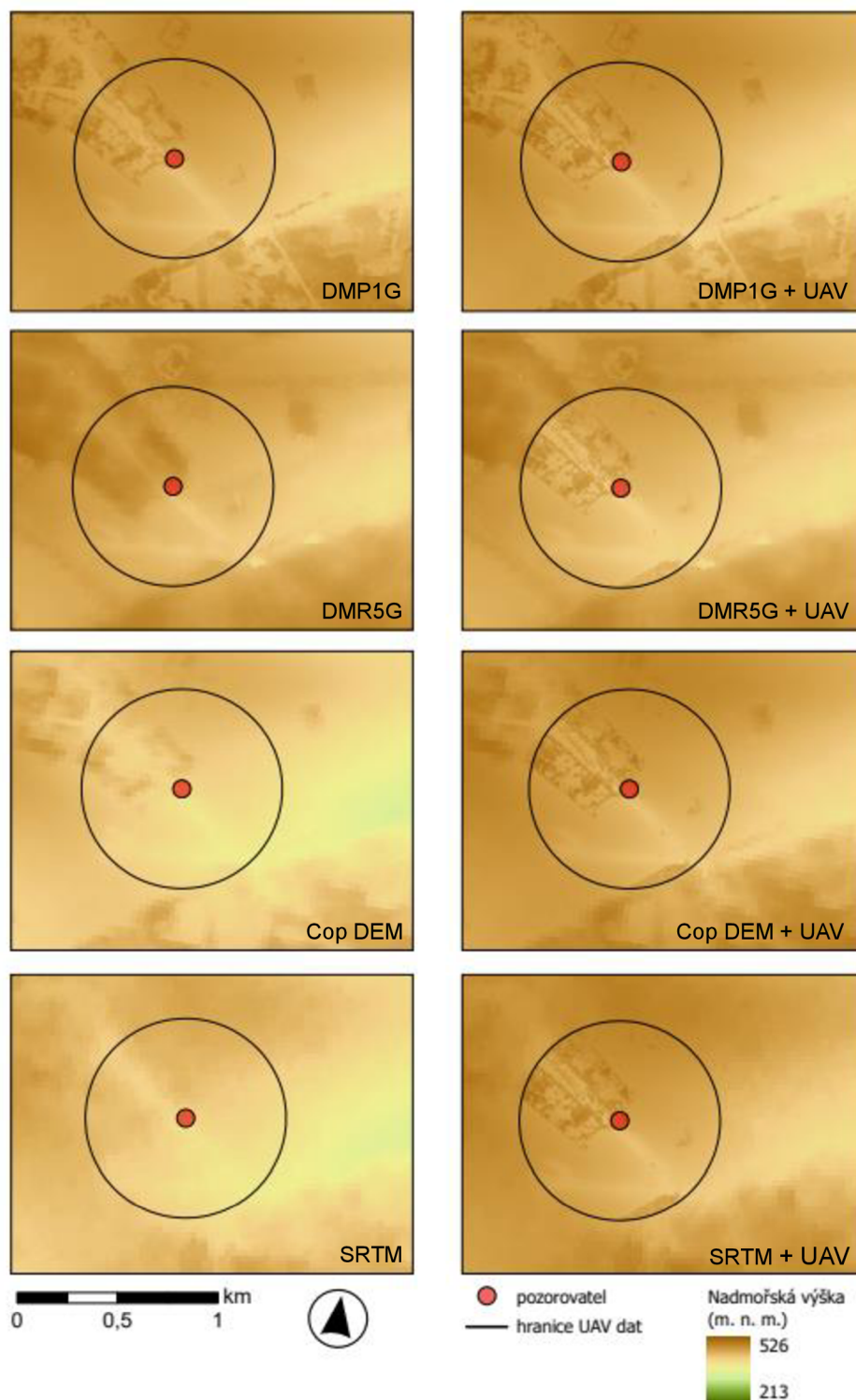
5.2. Metodika

5.2.1. Porovnání vstupních dat

Pro zjištění, jak jsou výsledky analýzy viditelnosti ovlivňovány vstupními daty bylo v první řadě potřeba upravit rozlišení některých rastrových dat. K tomu byla využita funkce pro převzorkování rastru v aplikaci ArcGIS Pro 3.2. Tato funkce byla použita pro rastr modelu DMR5G, pro který bylo převzorkování žádané za účelem sjednocení rozlišení jednotlivých částí rastru (digitální model reliéfu s rozlišením 2 m, globální model vegetace s rozlišením 10 m).

Převzorkování bylo použito rovněž na rastry modelů s nízkým prostorovým rozlišením – Cop DEM a SRTM. Po aktualizaci modelů UAV daty by totiž mohlo docházet k mylnému určení viditelných ploch, jelikož by viditelnost buňky s rozlišením 30 m mohla být blokována vegetací v okolí pozorovatele, a to i v případě, kdy by vegetace zastiňovala jen malou část této buňky. Zvýšením prostorového

rozlišení rastrů se minimalizuje počet takovýchto případů. Ve všech případech bylo zvoleno cílové rozlišení 5 m. Jednotlivé DMP pak byly porovnávány vůči digitálnímu modelu povrchu vytvořeného z dat pořízených bezpilotními leteckými prostředky – tento model byl zvolen jako referenční, jelikož se jedná o nejaktuálnější data, která mají zároveň nejvyšší prostorové rozlišení a polohovou přesnost.



Obrázek 8: Porovnání digitálních modelů povrchu před (levý sloupec) a po (pravý sloupec) aktualizaci UAV daty (vlastní zpracování, zdroj dat: Lang et al., 2023; ČÚZK, 2024; Earth Data, 2024; ESA, 2024)

Jelikož má model vytvořený z UAV dat rozsah jen pro blízké okolí areálu Amálie, bylo pro porovnání jednotlivých DMP potřeba zbylé modely oříznout tak, aby zaujímaly stejný rozsah, jako UAV data. Mimo to byly zvoleny další 2 oblasti – jedna z nich obsahující pouze lesní porost, druhá obsahující oblasti mimo les bez obsahu budov nebo jiných objektů. Velikost každé z oblastí se pohybovala kolem 40 ha.

Pro samotné porovnání výšek mezi modely byly vypočítány následující metriky: lokální minimum a maximum, průměr, směrodatná odchylka. Tyto metriky byly získány pro každý z modelů a následně odečteny od hodnot referenčního rastru. Následně byly jednotlivé rastry porovnány také pomocí RMSE. Veškeré metriky byly počítány celkem 3x, pro celý rozsah rastrů, oblast bez vegetace a zalesněnou oblast.

$$RMSE = \sqrt{\frac{(r - p)^2}{n}}$$

r – referenční rastr

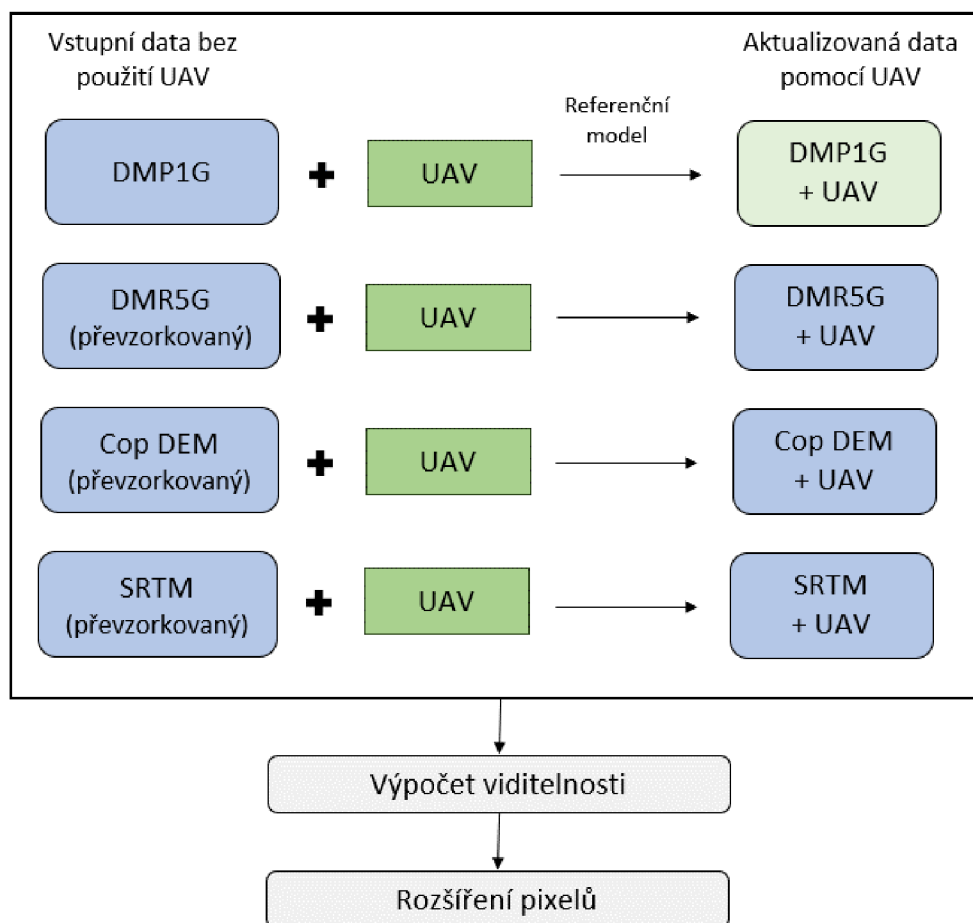
p – porovnávaný rastr

n – počet buněk rastru

5.2.2. Analýzy viditelnosti

Veškeré úpravy dat a samotné výpočty analýz byly prováděny v software ArcGIS Pro 3.2. Za účelem zjištění, jak se mění viditelná místa po aktualizaci DMP aktuálnějšími daty pořízených pomocí UAV, bylo provedeno celkem 8 analýz viditelnosti pro každou ze 3 lokalit. Stručný postup práce je znázorněn obrázkem 9.

Před samotným výpočtem bylo potřeba vytvořit nové, aktualizované digitální modely povrchu. Tato aktualizace byla provedena nahrazením původních hodnot rastrů v okolí pozorovatele novými hodnotami rastru DMP vytvořeného z UAV dat. Digitální model vytvořený z UAV dat byl z důvodů výpočetní náročnosti následných analýz převzorkován s velikostí buňky 32 cm, tedy 2x větší v porovnání s původním rozlišením. Pro tuto část práce bylo pro aktualizaci dat zvoleno okolí 500 m od pozorovatele. Pomocí funkce "Buffer" byl kolem každého pozorovacího místa vytvořen nový polygon. Tímto polygonem byl poté oříznut rastr modelu UAV. Následně byl oříznutý rastr modelu UAV sloučen spolu s ostatními rastry modelů povrchu. K tomuto kroku byla využita funkce "Mosaic To New Raster".



Obrázek 9: Zjednodušený diagram znázorňující postup úpravy dat a postup provádění analýzy viditelnosti. (vlastní zpracování)

Při výpočtu byla tato funkce nastavena tak, aby byly na překrývajících se buňkách zachovány hodnoty modelu UAV. Tento krok byl opakován celkem 4x pro každý z digitálních modelů na každé ze 3 lokalit – celkem tedy bylo vytvořeno 12 nových digitálních modelů terénu. V této části taktéž došlo ke stanovení referenčního modelu, nejbližše reprezentujícího zemský povrch. Tím byl zvolen model DMP1G v kombinaci s daty UAV. Tento model byl zvolen jakožto referenční na základě následujících kritérií – jedná se o model s nejnižší vertikální a horizontální prostorovou chybou, který má zároveň nejvyšší prostorové rozlišení ze všech dostupných modelů.

Jak již bylo zmíněno v rešeršní části této práce, k výpočtu byla využita funkce "Visibility". Tato funkce umožňuje uživateli nastavit tzv. observer offset neboli odsazení pozorovatele vertikálně od zemského povrchu (Esri, 2024). Změna tohoto parametru je pro potřeby této práce žádoucí, jelikož výchozí hodnota je nastavena na 1 m – pro výpočet viditelnosti byl parametr pozměněn na hodnotu 1,7 m, tedy výšku reprezentující lidskou postavu (Llobera et al., 2010). Samotný výpočet viditelnosti byl vypočten pro každý z původních i aktualizovaných modelů na každé

z lokalit – bylo provedeno 8 individuálních výpočtů na 3 lokalitách, celkem tedy 24 analýz viditelnosti. Z důvodu rozdílného rozsahu a detailu vstupních dat byla vyžadována agregace výstupů, aby došlo k zajištění konzistentnosti porovnávání výsledků napříč modely. Tento problém se nejvíce projevuje především mezi daty z leteckého skenování a globálními modely, které neobsahují stejnou úroveň detailu, což může vést ke ztrátě informace například u korun stromů nacházejících se na svazích (Mikita et al., 2023). Aby bylo tomuto problému zamezeno, byly všechny výstupy analýzy viditelnosti rozšířeny o 2 pixely. Rozšířené rastry byly posléze převedeny do podoby vektorových vrstev pro snadnější evaluaci výsledků.

Každý výstup viditelnosti byl porovnán s vrstvou viditelnosti pořízené nad referenčním modelem v podobě chybové matice. V aplikaci ArcGIS Pro byly provedeny základní prostorové analýzy, čímž byly získány rozlohy ploch každé ze čtyř kategorií (pravdivě pozitivní, falešně pozitivní, falešně negativní, pravdivě negativní), které byly následně zapsány do chybové matice. Pro porovnání výsledků analýz byla použita rozloha skutečně pozitivních oblastí, která byla taktéž procentuálně vyjádřena v porovnání s viditelnými oblastmi referenčního modelu (tj. procentuální shoda referenčních viditelných míst). Dále byl pro porovnání jednotlivých DMP využit tzv. Kohenův kappa koeficient, který oproti shodě skutečně pozitivních viditelných bere ohledy i na zbylé kategorie klasifikace v chybové matici (Cohen, 1960). Zahrnutí těchto kategorií do porovnání výsledků pomocí Kohenova kappa indexu může napomoci k přesnějšímu určení podobnosti mezi modely, jelikož samotná shoda skutečně pozitivních ploch může tuto podobnost nadhodnocovat. Vzhledem k existujícím studiím, které uvádějí, že digitální modely terénu s nižším rozlišením mají tendence nadhodnocovat viditelnost (Lagner et al., 2018), byla do porovnání výsledků zahrnuta i přesnost, tj. poměr rozlohy skutečně pozitivních ploch se všemi plochami vyhodnocenými jako viditelné. Tato metrika poskytuje informaci o míře, s jakou je model schopen správně identifikovat pozitivní třídy – vyšší hodnota indikuje menší počet falešně pozitivních klasifikací, naopak nižší hodnota poukazuje na vyšší počet falešně pozitivních klasifikací. Po zhotovení analýz a zhodnocení výsledků byly jednotlivé lokality na území Amálie opětovně osobně navštíveny a výsledky vizuálně zhodnoceny.

$$kappa = \frac{2 \times (TP \times TN - FN \times FP)}{(TP + FP) \times (FP + TN) + (TP + FN) \times (FN + TN)}$$

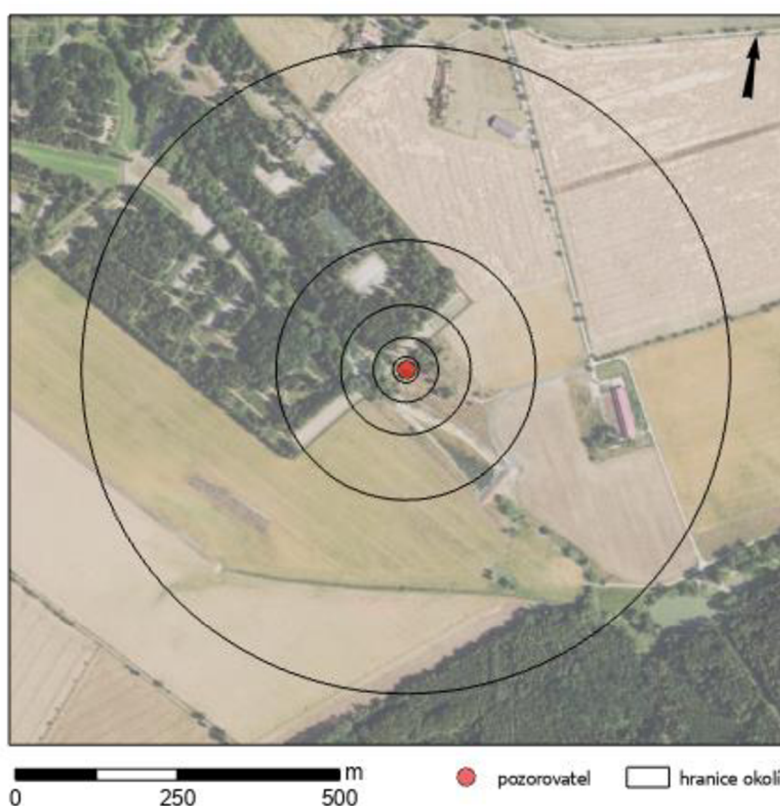
TP – skutečně pozitivní

TN – skutečně negativní

FP – falešně pozitivní

5.2.3. Porovnání vzdáleností aktualizace dat

Pro určení vzdálenosti, na kterou má aktualizace modelů UAV daty signifikantní vliv na výslednou viditelnost, bylo definováno celkem 5 rádiusů v okolí lokalit – 20 m, 50 m, 100 m, 200 m a 500 m (obrázek 10). Tyto rádiusy byly vytvořeny pomocí funkce "Buffer" v okolí každého pozorovacího místa. Obdobně jako v předchozí části práce byl digitální model vytvořený z dat UAV oříznut jednotlivými buffery znázorňující okolí pozorovatele. Oříznutý rastr UAV modelu byl použit spolu s původními digitálními modely jako vstup do funkce "Mosaic To New Raster", která nahradila hodnoty původních DMP novými hodnotami z modelu UAV. Tento krok byl opakován pro každý buffer vzdálenosti od pozorovatele (tj. 20–500 m).



Obrázek 10: Vyobrazení jednotlivých vzdáleností aktualizace okolí pozorovatele (20–500 m) (vlastní zpracování, zdroj dat: ČÚZK, 2024)

Následně byly provedeny analýzy viditelnosti, k výpočtu byla opět využita funkce "Visibility" se stejnými parametry nastavení, jako v předchozí části práce. Bylo provedeno 5 individuálních výpočtů pro každou z uvedených vzdáleností aktualizace dat a pro každý digitální model povrchu na celkem 3 lokalitách (tj. celkem 60 samostatných analýz). Výsledné viditelné plochy byly z již výše zmíněných důvodů expandovány o 2 pixely do každého směru. Pro zjištění, jak se měnily viditelné plochy v závislosti na vzdálenosti aktualizace dat byl z výstupů funkce "Visibility" získán poměr viditelných a neviditelných buněk. Tento poměr byl následně vnesen do grafu pro jednotlivé modely v závislosti na velikosti rádiusu aktualizace dat.

6. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Aktualizace starších prostorových dat, která mohou mít v některých případech i horší prostorové rozlišení, zaznamenala mezi studii v posledních letech nárůst popularity. Aktualizace dat se nepoužívá jen v případě analýz viditelnosti, jako v případě *Kim (2014)* nebo *Mikita et. al (2023)*. Vliv aktualizace dat je žádoucí i v dalších oblastech, například managementu zemědělství (*Mazzia et al., 2022*), zkoumání rizika sesuvů půdy (*Cao et al., 2022*), nebo monitorování vegetace (*Khaliq et al., 2019*). Pořízení dat pomocí UAV je vhodné především pro málo rozsáhlé oblasti, kdy je díky nízké letové výšce možné získat data s vysokým rozlišením v řádu desítek minut (*Bhagat et al., 2019*).

Jedním z hlavních důvodů využití UAV dat je možnost aktualizace starších datových sad, a to především v prostředí, ve kterém postupem času dochází ke změně. Jak uvádí *Růžičková et al. (2023)*, jedná se typicky o vegetaci, která může průběžně růst, nebo může naopak dojít k jejímu úbytku – ať už lidským zásahem (vykácení), nebo přirozenou disturbancí (vichřice, požár). Při nalétání území bezpilotními leteckými prostředky lze získat aktuální data, především výšky vegetace, která se v průběhu i několika mála let může rapidně proměnit (*Inglis et al., 2022*). Dalším problémem při zpracovávání analýz viditelnosti je charakter vegetace jakožto překážky. Vegetace nemusí nutně blokovat viditelná území, jelikož se může jednat o průhlednou nebo částečně průhlednou překážku (*Rášová, 2018*). *Rášová (2018)* rovněž poukazuje na změnu této vlastnosti v závislosti na ročním období. Podle *Bartie et al. (2010)* pak v některých případech není linie viditelnosti vegetací přerušena, ale prochází skrz porost pod korunami stromů. S tím je spojena i výška povrchu v místě pozorování, která je v takovýchto místech podle stejných autorů nadhodnocena, jelikož je pozorovatel umístěn na koruny stromu, nikoliv na zemský povrch. V této práci se však všechny tři zkoumané lokality nachází mimo území lesa a vegetace je brána jako neprůhledná.

Téma zpřesnění dat UAV a použití této metody v kontextu analýz viditelnosti není v současnosti příliš rozšířené. Je potvrzené, že aktualizace dat v okolí pozorovatele má vliv na viditelnost, a to především tam, kde je pozorovatel obklopen vegetací či jinými objekty, které mohou ovlivňovat výsledky analýz (*Mikita et al., 2023*). Tato skutečnost je podpořena i jinými studii, například *Bartie et al. (2010)* říká, že viditelnost je nejvíce ovlivněna překážkami v nejbližším okolí pozorovatele, jelikož tyto objekty mohou blokovat výhled. Na základě této skutečnosti tedy není potřeba mít detailní data pro odlehlejší oblasti, Zpřesnění dat je důležité spíše v okolí pozorovatele.

Existující studie se sice zabývají vlivem aktualizace dat na výsledky viditelnosti, žádná ze studií se však nezabývá velikostí okolí, při které má aktualizace dat signifikantní vliv na výsledky prováděných analýz, respektive změnami výsledků při aktualizaci různě velkého okolí.

K provedení analýzy viditelnosti jsou využívána výšková data znázorňující povrch Země. Taková data jsou označována jako digitální modely terénu a bývají uložena v podobě rastru (*Achilleos & Tsouchlaraki, 2004*). Pro výpočet viditelnosti jsou nejvíce vhodné digitální modely povrchu, které mimo terénu obsahují informace o objektech, které se na něm nachází (*Inglis et al., 2022*), nicméně *Mikita et al. (2023)* uvádí, že pro hrubé analýzy lze využít i digitální modely reliéfu, které pracují jen se zemským terénem bez vegetace a budov.

V současné době se v prostoru GIS nachází spousta aplikací pro zpracování analýz viditelnosti, mezi nejznámější patří například ArcGIS Pro vyvíjená společností Esri, popřípadě volně dostupná aplikace QGIS. První zmíněná možnost je oproti své alternativě zpoplatněna, nicméně s využitím školní licence byla pro účely této práce zvolena aplikace ArcGIS Pro. Alternativně lze využít geoprocesingových služeb, nicméně výpočty v prostředí webového prohlížeče mají určitá omezení.

7. VÝSLEDKY

7.1. Porovnání dat

Při porovnání vstupních DMP se ukázal postupný nárůst výšek mezi lety, kdy byla data pořízena. Tento nárůst se však projevuje především na zalesněných územích, oproti tomu na území mimo les se výška v průběhu let měnila minimálně. Na rozdíl mezi zalesněnými a nezalesněnými oblastmi u jednotlivých modelů poukazuje více metrik, kdy se například průměrný rozdíl výšek mimo les mezi DMP a referenčním modelem pohybuje u většiny modelů pod 1 metrem, vyjma modelu SRTM, hodnota RMSE nabývá nejvyšší hodnoty 1,09. Podle těchto hodnot vykazují DMP silnou podobnost na nezalesněných územích. V zalesněných oblastech se však modely výrazně liší. Za nejméně přesný model lze pokládat DMR5G + CHM, který vznikl kombinací digitálního modelu reliéfu a modelu výšky vegetace a jako u jediného z modelů nabyly hodnoty RMSE přes 10. Naopak nejlépe se projevíly modely Cop DEM z roku 2015, který se i přes své v porovnání s vybranými modely nízké prostorové rozlišení nejvíce blíží referenčnímu modelu, ale i zde je vidět poměrně velký rozdíl u výšky lesního prostu, kdy je lokální minimum Cop DEM položeno o téměř 11 m výše než u referenčního modelu. Model DMR1G je sice bližší referenčnímu modelu v pohledu minima a maxima, nicméně celková podobnost rastrů je v porovnání s Cop DEM nižší.

Tabulka 3: Porovnání statistických metrik výšek vstupních DMP vůči referenčnímu modelu vytvořeného z dat UAV (vlastní zpracování)

Rozdíly výšek (m)		minimum	maximum	průměr	směrodatná odchylka	RMSE
UAV x DMP1G	vše	-2,24	1,79	0,37	0,48	6,56
	les	-6,73	-2,22	2,65	0,31	7,84
	mimo les	0,06	-0,06	0,14	-0,06	0,23
UAV x DMR5G	vše	-24,07	-0,43	-8,92	0,49	15,45
	les	-32,78	-1,5	-4,12	1,98	14,85
	mimo les	0,2	-0,02	-0,55	-0,22	0,29
UAV x Cop DEM	vše	-3,02	10,7	0,87	1,14	6,41
	les	-9,37	10,45	3,36	1,52	6,84
	mimo les	1,35	0,7	0,66	-0,09	0,48
UAV x SRTM DEM	vše	-9,02	20,79	1,97	1,19	7,66
	les	-7,79	13,27	4,26	0,08	9,39
	mimo les	0,3	0,18	1,09	-0,12	1,09

7.2. Analýzy viditelnosti

Po porovnání vstupních dat byly spočítány analýzy viditelnosti pro každou z lokalit na datech jednotlivých DMP za využití funkce Visibility v aplikaci ArcGIS Pro 3.2. Výsledky analýz byly pro každou z lokalit porovnány vůči výsledkům viditelnosti referenčního modelu, vytvořeným kombinací DMP1G a UAV dat

ve vzdálenosti 500 m od pozorovatele. Bez ohledu na podmínky v okolí pozorovatele se ukázalo, že model vytvořený za pomoci globálního modelu výšky vegetace nadhodnocuje viditelné plochy, s hodnotami Kohenova kappa koeficientu a přesnosti (poměru skutečně viditelných pixelů se všemi pixely klasifikovanými jako viditelné) obdobnými jako u modelu SRTM (vyjma lokality č. 2), který však oproti ostatním modelům zaostává jak svým rozlišením, tak i datem pořízení.

Z výsledných hodnot lze zároveň pozorovat, jaký vliv má na viditelnost stáří dat. Po aktualizaci DMP daty pořízených UAV se razantně zvýšila přesnost i podobnost (kappa koeficient) starších modelů v porovnání s referenčním modelem. Na lokalitě č. 3 došlo po zpřesnění UAV daty ke snížení celkové rozlohy viditelných ploch. V porovnání s tím došlo na lokalitách č. 1 a 2 k nárůstu viditelných ploch. Hodnoty Kohenova kappa koeficientu pro jednotlivé DMP a lokality jsou znázorněny na obrázku 11. Na lokalitě č. 1 lze pozorovat, že model SRTM dokonce nabývá vyšší hodnoty než model DMR5G, nicméně přesnost modelu SRTM je nižší, model má tedy tendence oproti DMR5G nadhodnocovat viditelné plochy, a to i když se více podobá referenčnímu modelu (obrázek 11-12).

Tabulka 4: Porovnání výsledků analýzy viditelnosti pro lokalitu č. 1. Referenční model (DMP1G + UAV) je zvýrazněn světle šedě (vlastní zpracování)

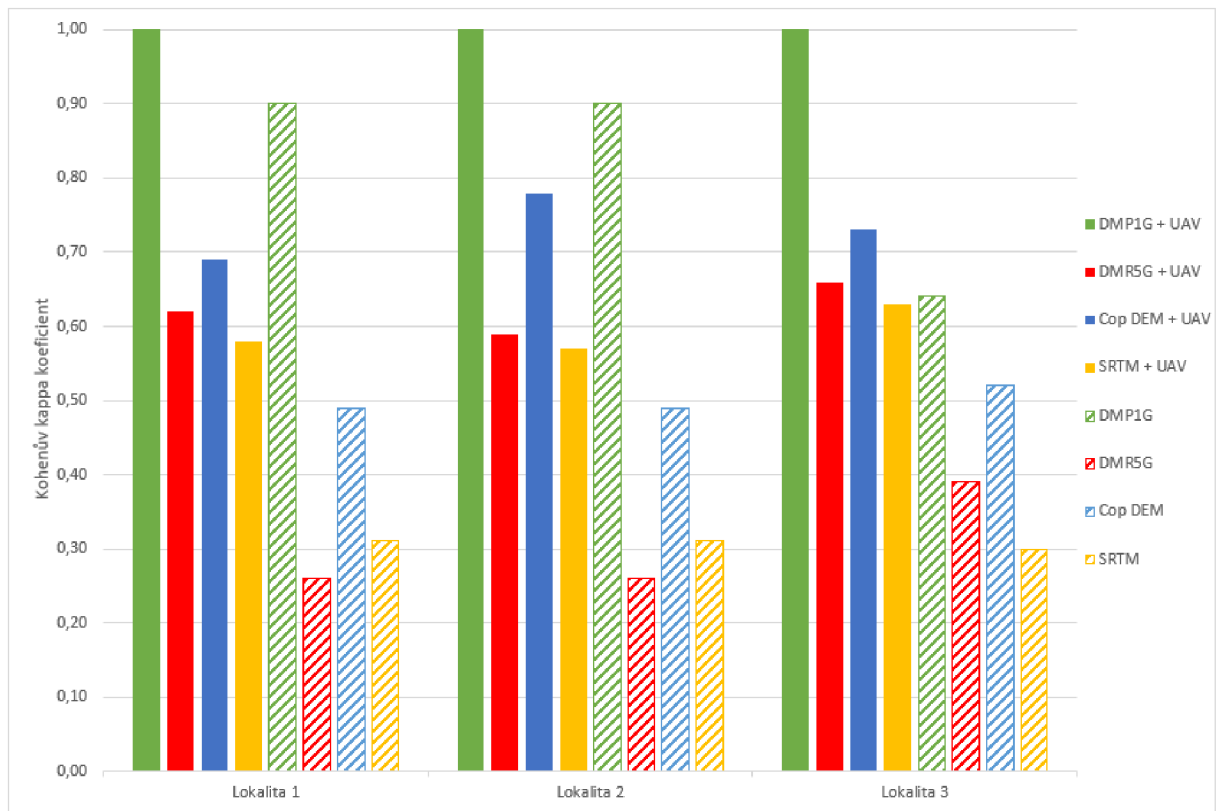
DMP	Skutečně pozitivní		Přesnost	Kappa koeficient	DMP	Skutečně pozitivní		Přesnost	Kappa koeficient
	Rozloha [ha]	% (ref.)				Rozloha [ha]	% (ref.)		
DMR1G	69,88	93%	0,86	0,90	DMP1G + UAV	74,96	100%	1	1
DMR5G	32,1	43%	0,24	0,26	DMR5G + UAV	55,74	74%	0,58	0,62
Cop DEM	48,51	65%	0,45	0,49	Cop DEM + UAV	66,29	88%	0,65	0,69
SRTM	58,55	78%	0,2	0,31	SRTM + UAV	59,65	80%	0,52	0,58

Tabulka 5: Porovnání výsledků analýzy viditelnosti pro lokalitu č. 2. Referenční model (DMP1G + UAV) je zvýrazněn světle šedě (vlastní zpracování)

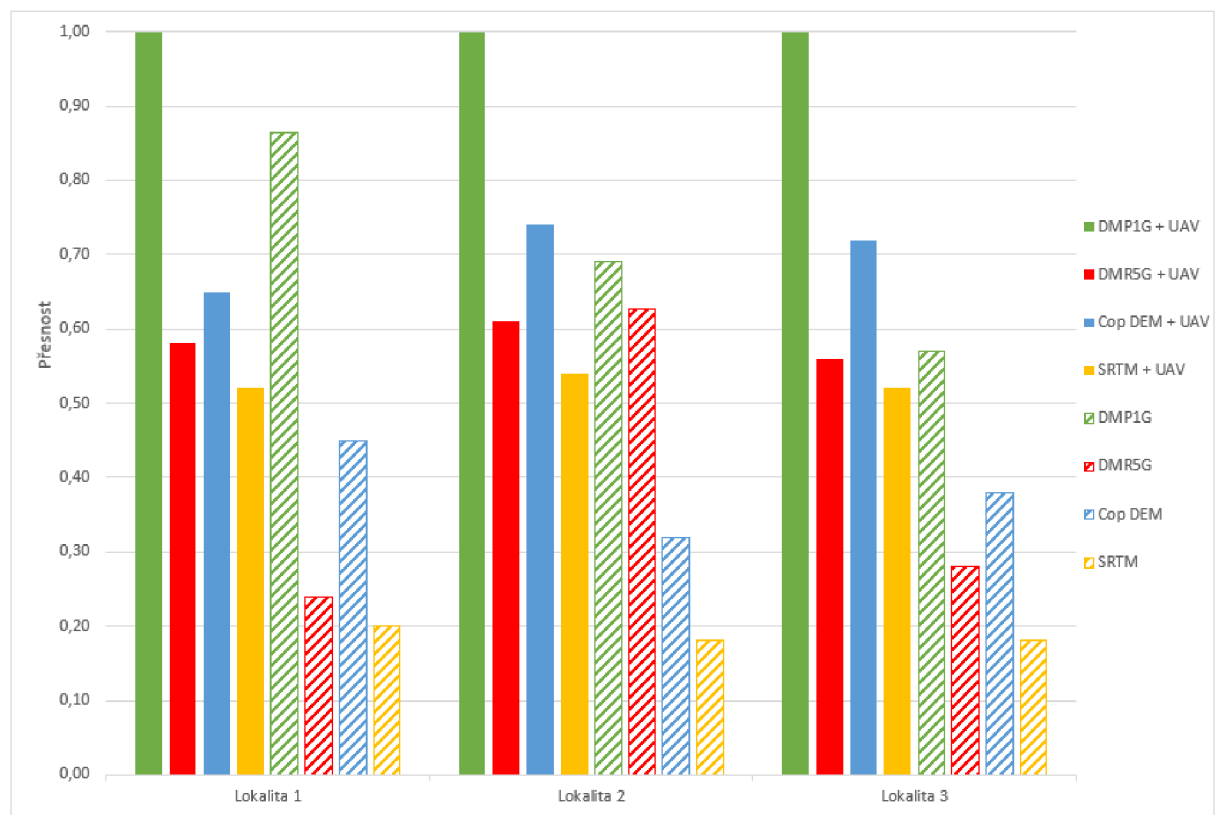
DMP	Skutečně pozitivní		Přesnost	Kappa koeficient	DMP	Skutečně pozitivní		Přesnost	Kappa koeficient
	Rozloha [ha]	% (ref.)				Rozloha [ha]	% (ref.)		
DMR1G	286,31	94%	0,69	0,81	DMP1G + UAV	304,30	100%	1	1
DMR5G	228,67	75%	0,63	0,57	DMR5G + UAV	251,11	83%	0,61	0,59
Cop DEM	218,96	72%	0,32	0,47	Cop DEM + UAV	263,27	87%	0,7	0,78
SRTM	169,84	56%	0,18	0,28	SRTM + UAV	244,63	80%	0,54	0,57

Tabulka 6: Porovnání výsledků analýzy viditelnosti pro lokalitu č. 3. Referenční model (DMP1G + UAV) je zvýrazněn světle šedě (vlastní zpracování)

DMP	Skutečně pozitivní		Přesnost	Kappa koeficient	DMP	Skutečně pozitivní		Přesnost	Kappa koeficient
	Rozloha [ha]	% (ref.)				Rozloha [ha]	% (ref.)		
DMR1G	11,62	90%	0,57	0,64	DMP1G + UAV	12,86	100%	1	1
DMR5G	10,2	79%	0,28	0,4	DMR5G + UAV	9,86	77%	0,56	0,66
Cop DEM	9,67	75%	0,38	0,52	Cop DEM + UAV	9,44	73%	0,72	0,73
SRTM	7,98	62%	0,18	0,3	SRTM + UAV	7,61	59%	0,52	0,63



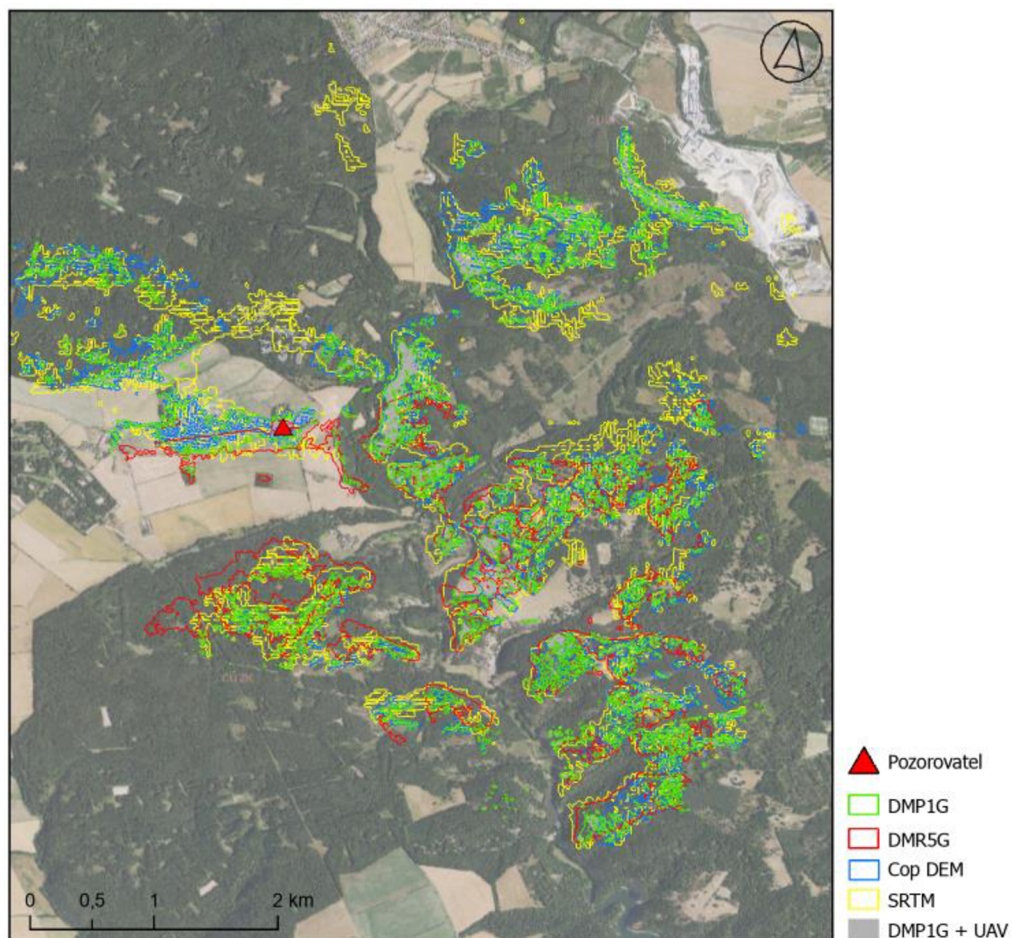
Obrázek 11: Hodnoty Kohenova kappa koeficientu vycházející z výsledků jednotlivých analýz viditelnosti (*vlastní zpracování*)



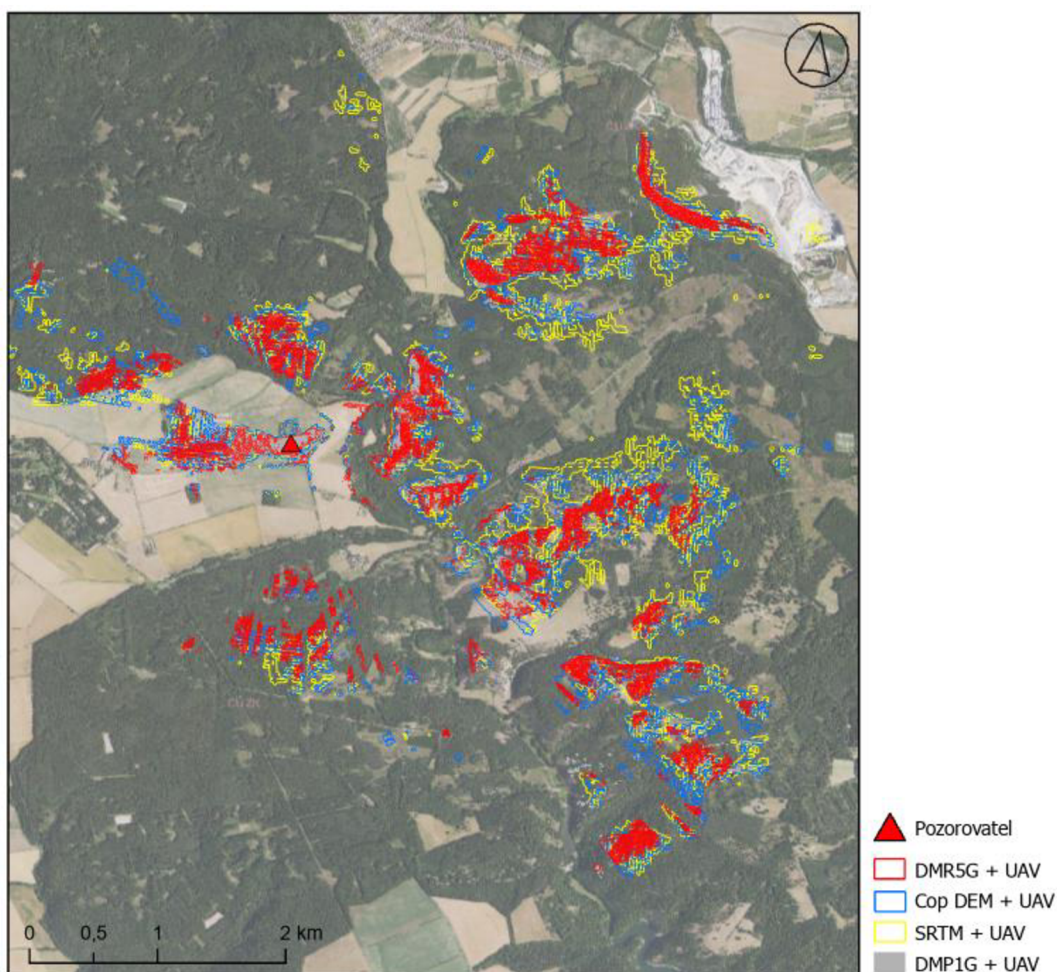
Obrázek 12: Hodnoty přesnosti jednotlivých modelů vycházející z výsledků jednotlivých analýz viditelnosti (*vlastní zpracování*)

Analýzy viditelnosti na jednotlivých lokalitách

Na všech lokalitách se prokázal vliv zpřesnění UAV daty. Nejvíce se však projevil na lokalitách č. 2 a 3. U lokality č. 1 se spíše než změna v čase, projevil vliv nízkého prostorového rozlišení. Modely SRTM a DMR5G v porovnání s referenčním modelem silně nadhodnocují viditelné plochy, analýza nad modelem SRTM dokonce jako viditelné klasifikovala i plochy na území, na kterých ostatní modely žádné viditelné plochy nedefinovaly (obrázek 13). Po zpřesnění SRTM modelu UAV daty však byla většina těchto oblastí eliminována. Podobný problém s nadhodnocováním viditelných ploch nastal i u modelu DMR5G, ten však oproti SRTM definoval viditelné plochy v oblastech spolu s ostatními modely. Další problém u tohoto modelu nastal ve spojitosti s vegetací v okolí pozorovatele, kdy model výšky vegetace, na základě kterého byl tento DMP vytvořen, obsahoval vysoké hodnoty, a proto byla území umístěná severně od pozorovatele klasifikována jako neviditelná. Tento problém byl odstraněn po zpřesnění UAV (obrázek 14).



Obrázek 13: Vizualizace viditelných míst na lokalitě č. 1 před aktualizací daty UAV (vlastní zpracování, zdroj dat: ČÚZK, 2024)



Obrázek 14: Vizualizace viditelných míst na lokalitě č. 1 po aktualizaci daty UAV (vlastní zpracování, zdroj dat: ČÚZK, 2024)

Na lokalitě č. 2 se stejně jako na lokalitě č. 1 projevil problém s vyhodnocením viditelných ploch v oblastech, které většina modelů vyhodnotila jako neviditelné. Tento problém nastal u modelu SRTM, nicméně v okrajových oblastech docházelo k nadhodnocení i u modelu Cop DEM. Problém s výškou vegetace nastal tak jako u lokality č. 1 opět u modelu DMR5G, i při vzdálenosti nejbližší vegetace cca 200 m (příloha 1). Oba problémy byly opět odstraněny po upřesnění UAV daty, kdy u modelu DMR5G došlo k téměř dvojnásobnému nárůstu rozlohy viditelných ploch – jedná se o nejvyšší nárůst po úpravě daty UAV, příčinou tohoto byl úsek lesa, jehož výška byla v původním modelu podstatně vyšší než po zpřesnění daty UAV (příloha 2).

Vliv časové aktualizace se nejvíce projevil na lokalitě č. 3, především kvůli nízkému keřovému porostu ve vzdálenosti přibližně 10 m od pozorovatele. Na této lokalitě došlo po zpřesnění UAV daty ke snížení rozlohy viditelných ploch u všech modelů a k nárůstu kappa koeficientu, který je téměř identický pro všechny modely. Model SRTM i na této lokalitě definuje viditelné plochy na některých územích osamoceně, nicméně po úpravě daty UAV byl problém opět eliminován.

V nejbližším okolí pozorovatele docházelo k nadhodnocení viditelných ploch také u modelu DMR5G, kdy model udával v místě pozorovatele vyšší hodnotu nadmořské výšky než ostatní DMP. Následkem tohoto bylo "vyvýšení" pozorovatele, díky čemuž byl eliminován vliv svahu v blízkosti pozorovatele, přes který nebyly ostatní DMP schopné klasifikovat plochy jako viditelné, zatímco DMR5G tyto plochy klasifikovat dokázal (příloha 3). Díky tomuto "vyvýšení" model taktéž ignoroval nízkou vegetaci v okolí, která je jinak schopná snížit viditelnost.

7.3. Vliv vzdálenosti aktualizace dat

Jako poslední byly provedeny analýzy viditelnosti pro jednotlivé rádiusy vzdálenosti od místa pozorovatele. Po provedení analýz byly spočteny poměry viditelných a neviditelných ploch do jednoho parametru, který byl následně porovnán pro jednotlivé DMP a pro každou vzdálenost úpravy pomocí dat UAV od pozorovatele. Na základě získaných výsledků nelze jednoznačně určit, do jaké vzdálenosti je vliv zpřesnění daty UAV signifikantní, jelikož výsledky jsou pro každou lokalitu jiné. Pro všechny 3 lokality však lze říct, že k nejvýraznějším změnám v poměru viditelných a neviditelných ploch došlo na vzdálenosti 20 m od pozorovatele (obrázek 15-17). I přesto, že k nejvýraznějším změnám došlo na nejmenší pozorované vzdálenosti, jsou ostatní rádiusy vzdáleností taktéž důležité pro pozorování změn u viditelných ploch.

7.3.1. Vliv vzdálenosti aktualizace na jednotlivých lokalitách

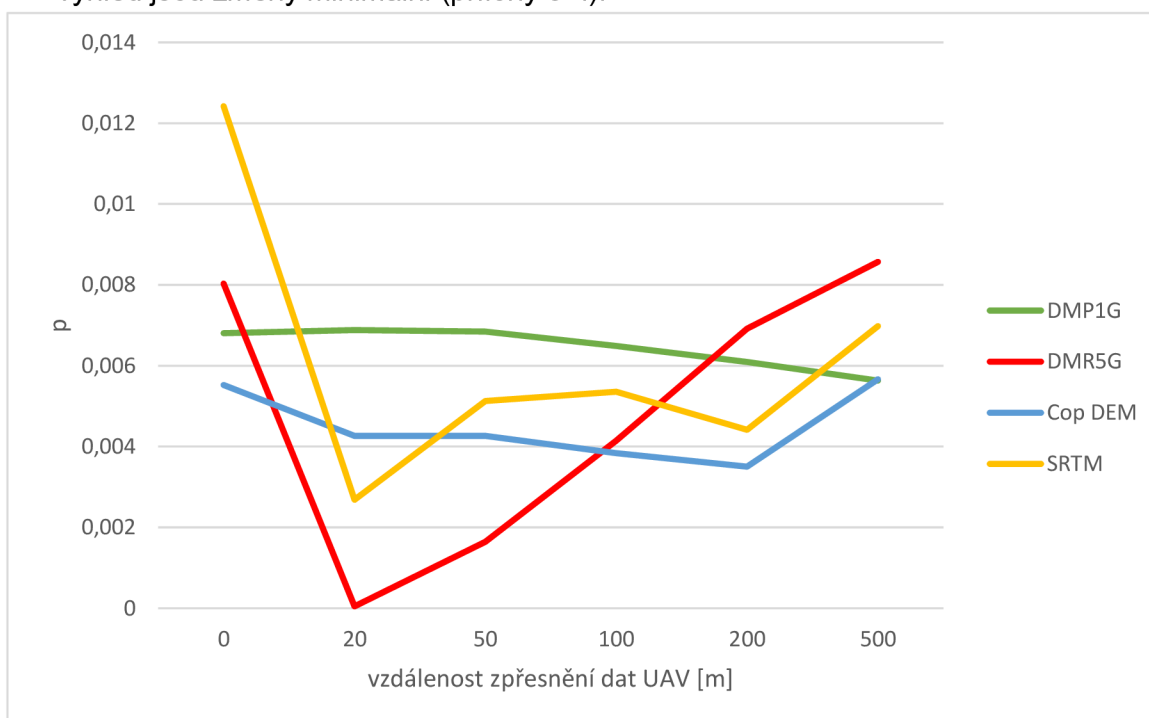
U lokality č. 1, s nejbližší vegetací vzdálenou přibližně 30 m na mírném svahu došlo ke strmému propadu viditelnosti ve vzdálenosti do 20 m, především u DMP s nižším prostorovým rozlišením. Jelikož se pozorovatel na této lokalitě nachází na mírném svahu se zhoršenou viditelností za horizont, je tento propad pravděpodobně způsoben snížením výšky pozorovatele, a tedy zhoršením viditelnosti za horizont. Naopak při zpřesnění UAV daty na delší vzdálenosti se poměr viditelných ploch začíná u těchto DMP zvyšovat (obrázek 15), jelikož do výpočtů již vstupovaly modely s vyšším detailem především blízké vegetace, která jinak může blokovat viditelná území.

Lokalita č. 2 díky svým podmínkám neprojevuje zásadní změny ve viditelnosti v závislosti na vzdálenosti, na kterou jsou DMP zpřesněny. Tak jako u ostatních lokalit lze i zde pozorovat změny u DMP s nižším rozlišením v při zpřesnění nejbližšího okolí, nicméně do vzdálenosti 200 m se neprojevují žádné výrazné změny viditelnosti. Jelikož je nejbližší vegetace na této lokalitě vzdálena přes 200 m, další změny

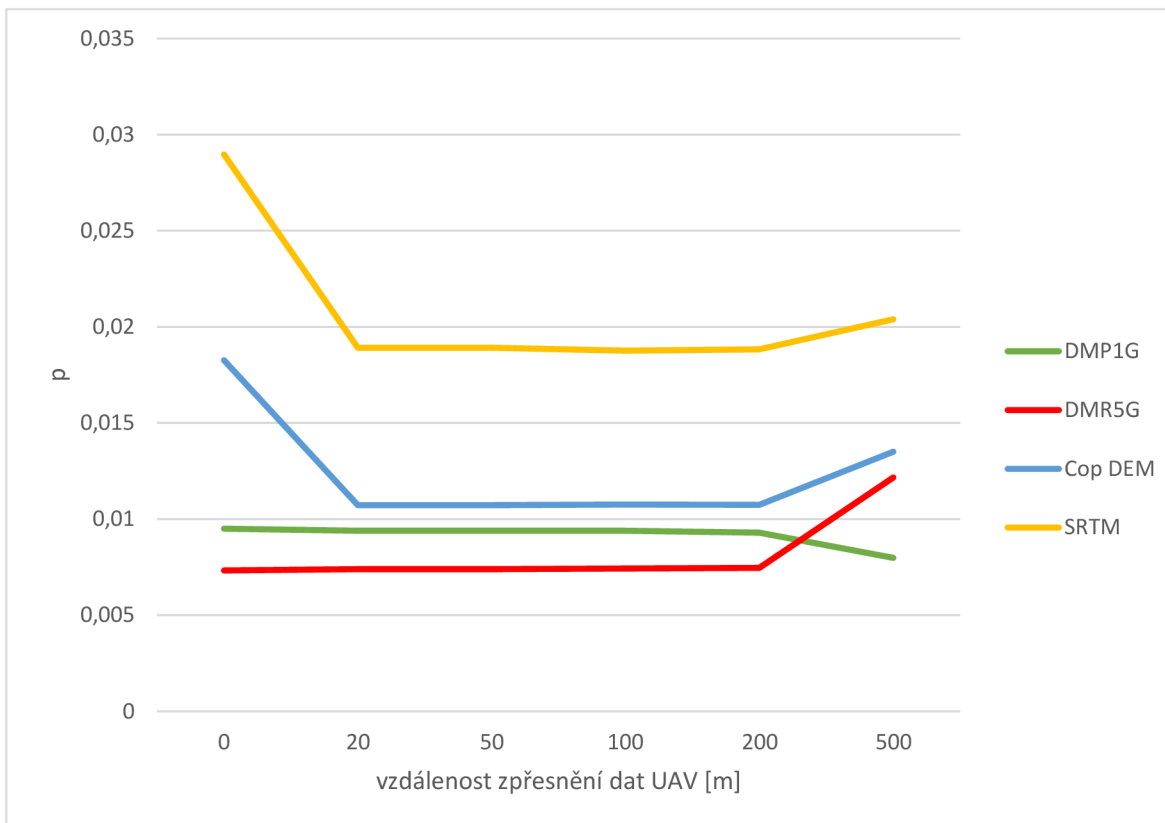
viditelných ploch se projevují až při úpravě modelů s rádiusem 500 m (obrázek 16). Tato skutečnost je již rozebírána výše, u výsledků analýz viditelnosti pro lokalitu č. 2.

Ze tří zkoumaných lokalit jsou podmínky v okolí lokality č. 3 nejvíce různorodé, s nejbližší vegetací vzdálenou přibližně 10 m, vyšší vegetací vzdálenou 40 m a se svažitém terénem v okolí, čemuž odpovídají i výsledky analýz na této lokalitě. Opět platí, že nejvíce změn viditelnosti proběhlo při úpravě nejbližšího okolí (obrázek 17). U modelu DMR5G jsou změny nejvíce zřejmé, důvodem je „vyvýšení“ místa pozorovatele výše, než je umístěn v ostatních DMP. U zbylých modelů jsou poklesy a následné nárůsty způsobeny zpřesněním výšky vegetace ve vybrané vzdálenosti – vegetace tak může blokovat viditelné plochy, nebo naopak může mít nižší výšku než v původním DMP před aktualizací UAV, a tím odkrýt více viditelných oblastí. Další z možností, proč dochází k nárůstům a poklesům viditelnosti, může být změna výšek při změně velikosti buňky DMP, kdy je buňce přiřazena výška v závislosti na sousedních buňkách, čímž se může buňka stát pro pozorovatele neviditelnou, nebo naopak může blokovat linii viditelnosti, a tím zastínit viditelné území.

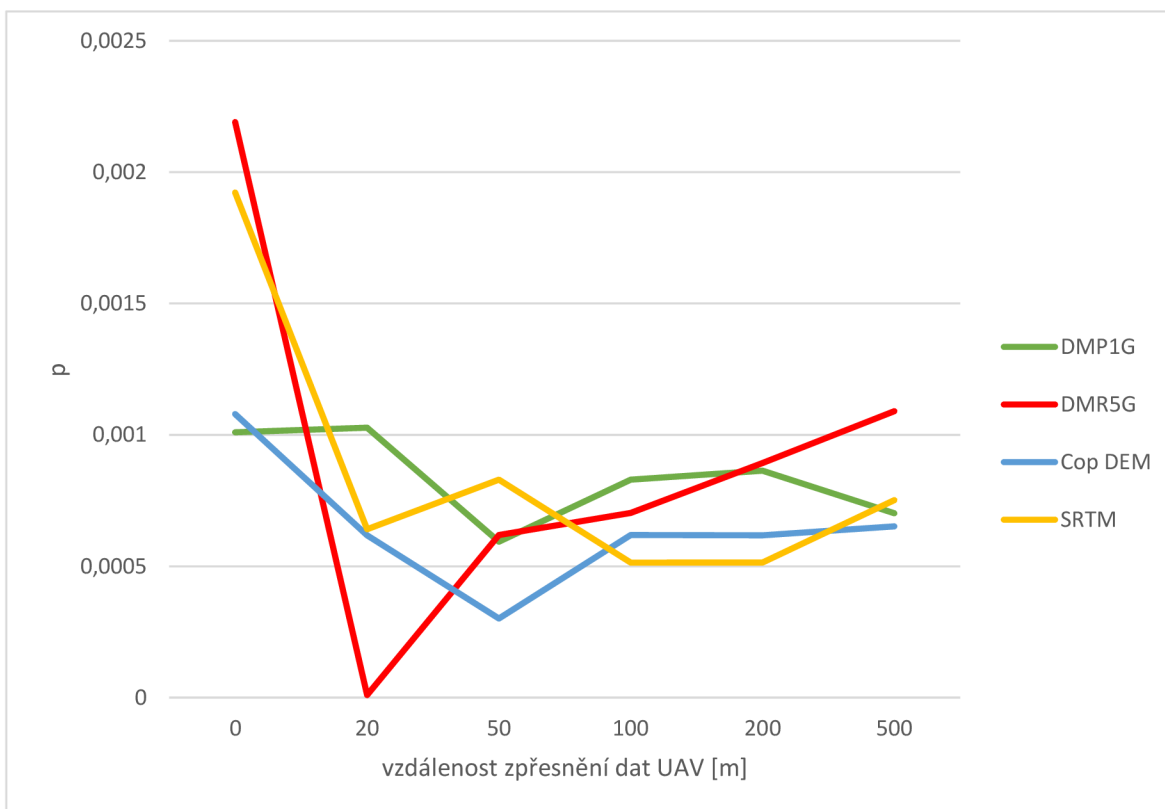
V případě některých lokalit se taktéž ukázal vliv podmínek okolního prostředí. V případě lokality č. 3 je zpřesnění UAV daty v kruhovém rádiu neefektivní, jelikož je výhled z místa pozorovatele ohraničen strmým svahem a vzrostlou vegetací. V případě této lokality se projeví změny množství viditelných míst ve směru na jih až jihovýchod, oproti tomu ve směru na sever, kde se nachází lesní porost blokující výhled jsou změny minimální (přílohy 3-4).



Obrázek 15: Poměr rozloh viditelných a neviditelných ploch pro jednotlivé vzdálenosti zpřesnění pomocí UAV dat. Lokalita 1 (vlastní zpracování)



Obrázek 16: Poměr rozloh viditelných a neviditelných ploch pro jednotlivé vzdálenosti zpřesnění pomocí UAV dat. Lokality 2 (vlastní zpracování)



Obrázek 17: Poměr rozloh viditelných a neviditelných ploch pro jednotlivé vzdálenosti zpřesnění pomocí UAV dat. Lokality 3 (vlastní zpracování)

7.4. Vizuální zhodnocení viditelnosti

7.4.1. Lokalita č. 1

Na lokalitě č. 1 je viditelnost omezena především vegetací vzdálenou přibližně 30 m. Tato vegetace se nachází na mírném svahu, čímž blokuje pouze část viditelných míst nacházejících se přímo za tímto porostem. Vzrůst vegetace v okolí je relativně nízký, což umožňuje viditelnost lesů, nacházejících se v pozadí.

Opačným směrem od vegetace omezuje viditelnost pozorovatele horizont, po kterém vede silnice lemovaná stromy. Jednotlivé digitální modely povrchu (s výjimkou DMP1G) nicméně klasifikovaly jako viditelné i plochy nacházející se za tímto horizontem (obrázek 13). Po zpřesnění UAV daty však tento problém pominul, viditelné jsou pouze stromy v aleji kolem silnice a koruny stromů, které převyšují lokální horizont (obrázek 14).

7.4.2. Lokalita č. 2

U lokality č. 2 byl výhled směrem do svahu limitován horizontem a stromy nacházejícím se na něm, podobně jako u lokality č. 1. Nejbližší vegetace byla vzdálena přibližně 200 m jihovýchodním směrem, nicméně model SRTM tuto vegetaci při výpočtu viditelnosti ignoroval a jako jediný označil za viditelné i oblasti nacházející se za touto vegetací (příloha 1).

Při opačné orientaci se ve vzdálenosti necelých 400 m nachází další lesní porost v objektu lánské bažantnice, za kterým modely Cop DEM a SRTM s nižším prostorovým rozlišením klasifikovaly další oblasti jako viditelné, i když při vizuálním zhodnocení je viditelnost omezena na začátek areálu bažantnice (příloha 1). Výše zmíněné problémy byly eliminovány při provedení analýz viditelnosti na aktualizovaných modelech (příloha 2).

7.4.3. Lokalita č. 3

Viditelnost v místě lokality č. 3 je omezena více faktory. Jedním z nich je svah, končící až po necelých 70 m od pozorovatele, čímž je kompletně blokován výhled jihovýchodním směrem. Tato skutečnost byla ignorována u modelu SRTM, který vyhodnotil území nacházející se za svahem jako viditelná (příloha 3).

Dalším faktorem limitujícím viditelnost je plot již zmíněné bažantnice, který se nachází v těsné blízkosti pozorovatele. Plot je z části průhledný a v žádném z modelů není započítána jeho výška, při výpočtech tedy nebyl brán jako překážka. Při pohledu do bažantnice je viditelnost omezena na nejbližší stromy, nicméně modely Cop DEM a SRTM, z malé části pak i DMP1G určili několik ploch za touto vegetací

jako viditelné (příloha 3). Oba zmíněné problémy byly, jako v případě předchozích lokalit, odstraněny po aktualizaci modelů UAV daty (příloha 4).

8. DISKUSE

8.1. Stáří dat

Tato práce se věnuje pozorování vlivu stáří vstupních dat a jejich prostorového rozlišení na výsledky analýzy viditelnosti. Jedním z předpokladů práce byla skutečnost, že se stářím dat se postupně snižuje celková rozloha viditelných ploch, což ukázaly výsledné hodnoty Kohenova kappa koeficientu – I když došlo ke zvýšení rozloh skutečně viditelných oblastí, nastalo po aktualizaci UAV daty snížení počtu falešně pozitivních klasifikací, čímž byl způsoben nárůst hodnot Kohenova kappa koeficientu (tabulka 4-6). Vliv zastaralých dat se nejméně projevuje v oblastech, které jsou méně náchylné na změny okolního prostředí, například růstu vegetace, nebo naopak jejího odstraňování (*Inglis et al, 2022*). I když se na všech výzkumných lokalitách ukázala aktualizace starších datových sad jako klíčová pro upřesnění výsledků viditelnosti, je rovněž nezbytné zohlednit vzdálenost, na kterou jsou tato data aktualizována.

8.2. Aktualizace dat

V závislosti na zvolené vzdálenosti v kombinaci s podmínkami prostředí na jednotlivých lokalitách se může výrazně lišit množství ploch, které jsou viditelné, nebo naopak neviditelné. Pro porovnání vlivu aktualizace dat byla použita vzdálenost 500 m od místa pozorovatele. Avšak na lokalitě č. 2, kde se v blízkém okolí nenachází žádná vegetace nebo jiné objekty, které by mohly zakrývat viditelné oblasti, je možné pozorovat u rozdílných modelů minimální zvýšení, popřípadě stagnaci množství viditelných ploch při aktualizaci dat až do vzdálenosti 200 m. Vyšší nárůst je patrnější právě až při aktualizaci 500 m vzdáleného okolí (obrázek 16). U zbylých lokalit č. 1 a 3 se naopak množství viditelných ploch proměňuje na každé ze vzdáleností aktualizace. Nejvíce změn je však patrných na lokalitě č. 3 (obrázek 17), která je podmínkami ze všech zkoumaných míst nejvíce rozmanitá.

Z výsledků práce vyplývá, že aktualizace dat v blízkosti pozorovatele má efektivní dopad na výslednou viditelnost, nejvíce efektivní je však na lokalitách, v jejichž nejbližším okolí se nachází vegetace či jiné překážky (obrázky 15 a 17). Výsledky práce se ztotožňují s výsledky studie *Nutsford et al. (2015)*, která zmiňuje, že vizuální význam terénu je silně ovlivněn vertikálním rozměrem (tj. svahem či expozicí), který standardně nebývá zohledněn v analýzách viditelnosti. Ze získaných informací lze rovněž vyvodit, že nejlepším způsobem pro zvýšení přesnosti výsledků analýzy by byla aktualizace dat ideálně pro celou zájmovou oblast. Nicméně existuje mnoho důvodů, proč je tento přístup nepraktický.

Mezi tyto důvody patří jak časová, tak finanční náročnost pořízení těchto dat, nebo také delší doba potřebná k následnému zpracování surových dat.

8.3. Prostorové rozlišení dat

Při obstarávání digitálních modelů terénů jsem rovněž předpokládal, že mimo stáří dat bude mít silný vliv i prostorové rozlišení dat a jejich polohová přesnost. Tento předpoklad se potvrdil při porovnání jednotlivých digitálních modelů povrchu, kdy se nejlépe vůči referenčnímu modelu vytvořenému z dat UAV projevily modely DMR1G a Cop DEM. Hodnota metriky RMSE, která poukazuje na celkovou podobnost porovnávaných modelů, byla v případě obou zmíněných modelů velice podobná, a to i přes to, že model DMR1G, u kterého sběr dat pro zájmové území proběhl v roce 2011, je o 4 roky starší oproti modelu Cop DEM z roku 2015 (tabulka 2). Jedním z důvodů obdobných hodnot RMSE u obou modelů může být skutečnost, kdy je rozdíl v čase pořízení kompenzován právě prostorovým rozlišením a polohovou chybou. Při pohledu na zbylé metriky porovnání lze pozorovat větší výkyvy u modelu Cop DEM. Naopak model DMR1G vykazuje vyšší stabilitu (tabulka 2). Pro data pořízená pomocí UAV by bylo možné využít původní rozlišení, čímž by došlo ke přesnění výsledků analýzy, nicméně jak také uvádí *Labib et al. (2021)*, spolu s tím by výrazně narostla doba potřebná pro výpočet.

Dalším předpokladem bylo nadhodnocování viditelných ploch modely s nižším prostorovým rozlišením. Toto tvrzení bylo potvrzeno na všech lokalitách, nejvíce se však projevilo na lokalitě č. 3, která byla umístěna v komplikovaných přírodních podmínkách (tabulka 6). Výjimku tvořila lokalita č. 2, na které došlo u modelu DMR5G po aktualizaci UAV daty k nárůstu počtu skutečně pozitivních ploch, nicméně zároveň s tím narostlo i množství falešně pozitivních ploch, které mělo za následek snížení přesnosti modelu. Změna v počtu falešně pozitivních oblastí je především důsledkem nárůstu oblastí klasifikovaných jako viditelné na okrajích zkoumaného území, i když tato místa nejsou podle referenčního modelu viditelná. Tento jev je způsoben generalizací výšky vegetace v delší vzdálenosti od pozorovatele, která vychází z metody tvorby modelu DMR5G za využití globálního modelu výšky vegetace. Tato generalizace může vést k stanovení nižší výšky vegetace, která by v opačném případě mohla vyvyšovat lokální horizont a tím blokovat viditelná místa (*Caha & Rášová, 2015*). Pro zajištění srovnatelnosti výstupů dílčích analýz a možného zkreslení způsobeného rozdílným prostorovým a časovým rozlišením vstupních dat bylo využito agregace pixelů. Tento krok je zmíněn i ve studii *Mikita et al. (2023)*. Účelem kroku bylo částečné odstranění vlivu rozdílnosti vstupních dat, kdy se v modelech s podrobnějším měřítkem projevvalo

částečné zastínění viditelných míst korunami stromů, ovlivňující celkový počet viditelných míst.

Nahodnocování viditelných ploch je do určité míry způsobeno rozdílným obdobím sběru dat v rámci vegetačního období. Podle *Ørka et al. (2010)* modely pořízené během vegetačního období lépe reprezentují povrch vegetace a v porovnání s modely vytvořenými z dat pořízených mimo vegetační období. Tento rozdíl je minimální v případě jehličnatých lesů, nicméně více zřetelný je v případě listnatých a smíšených lesů, kde může mimo vegetační sezónu docházet k průhlednosti vegetace a následnému snížení výšky vegetace (*Wasser et al., 2013*). V okolí zájmového území jsou lesy z velké části smíšené případně jehličnaté, což může na některých místech vést k nepřesným hodnotám výšky povrchu a následnému nadhodnocení viditelnosti. V této práci byly využity oba typy modelů – bezlisté modely (leaf-off) i modely s listím (leaf-on). Data z modelu SRTM byla získána během února 2000, tedy mimo vegetační období, kdy je viditelnost terénu maximální (*Earth Data, 2024*). Tento fakt spolu s nízkým prostorovým rozlišením dat (přibližně 30 metrů) a stářím dat vedl k méně přesným výsledkům analýz, zejména ve srovnání s novějšími modely s vyšším rozlišením, jako je například DMR1G či Cop DEM. Takovéto modely, které mají tendence nadhodnocovat viditelná místa jsou vhodné spíše na hrubé analýzy viditelnosti pro rozsáhlejší zájmové území (*Wang & Dou, 2020*).

8.4. Tvorba digitálních modelů povrchu

Tato práce taktéž přinesla nadhled do problematiky tvorby digitálních modelů povrchů fúzí více datových sad. Porovnání jednotlivých modelů v oblastech, ve kterých se nachází jen nízká vegetace a neobsahují zástavbu či jiné, uměle vytvořené objekty, ukázalo, že stáří dat má minimální, v některých případech téměř nulový vliv na změnu povrchu (tabulka 4-6). Díky tomuto zjištění lze předpokládat identičnost digitálních modelů povrchů a digitálních modelů reliéfu. DMR tak mohou být a jsou využívány (*Lagner et al., 2018; Mikita et al., 2023*) pro tvorbu DMP v kombinaci s daty o vegetaci. Touto problematikou se zabývali například *Lagner et al. (2018)* nebo *Klouček et al. (2015)*, kdy byly části povrchu pokryté vegetací nebo zastavěným územím vyjádřeny ve formě vektorových vrstev s pevně stanovenou výškou. Tyto vrstvy byly poté přičteny k původnímu DMR. V případě studie provedené *Mikita et al. (2018)*, byl model vegetace získán v podobě rastru výšek vegetace v globálním měřítku. Tento model byl stejně jako v případě předchozích studií přičten k digitálnímu modelu reliéfu.

V této práci byly zkombinovány oba přístupy, kdy byla k digitálnímu modelu reliéfu 5. generace přičtena vegetace v podobě globálního modelu vegetace, zatímco budovy byly ručně vektorizovány s konstantní výškou. Tento model se projevil být již při porovnání vstupních dat silně nekorespondující s referenčním modelem (tabulka 2). Po provedení analýz nad tímto modelem a porovnání výstupů s ostatními modely se tento fúzí vytvořený model DMR5G ukázal být spolu s modelem SRTM nejméně podobný referenčnímu modelu. Tyto dva modely byly rovněž nejméně přesné při predikování skutečně pozitivních ploch (tabulka 4-6). Tato skutečnost však byla narušena v případě lokality č. 2, kde model DMR5G dosahoval vyšší přesnosti než zbylé modely. (tabulka 5). Vysoká přesnost je v tomto případě způsobena silnou podobností mezi modely DMR1G a DMR5G na nezalesněných územích (tabulka 3). Vzhledem k tomu, že jsou oba modely vytvořeny ze stejného bodového mračka leteckého skenování pořízeného roku 2011, není tato skutečnost překvapivá (ČÚZK, 2023). Dále se lokalita č. 2 nachází na poli, s nejbližší vegetací vzdálenou přibližně 200 metrů. V důsledku toho oba modely vykazovaly podobné výškové hodnoty v okolí pozorovatele a následně i vysokou přesnost modelu DMR5G.

Jak uvádí *Mikita et al. (2023)* a potvrzuje tato diplomová práce, pro detailnější rozsah je ideální aktualizovat okolí pozorovatele daty pořízených UAV, jelikož jsou přesnější i v porovnání s daty ALS (*Siwiec, 2018*). Komplikací pro pořízení těchto dat je však množství omezení a regulací na území jak České republiky, tak Evropské unie (*Stöcker et al., 2017; Šafář et al., 2021*). I přes tato omezení je však využití UAV dat pro zpřesnění digitálních modelů klíčové, jak potvrdila tato práce spolu s dalšími (*Osrini et al., 2022; Mikita et al., 2023*). V případě zpřesnění dat je však potřeba pracovat s podmínkami prostředí v okolí pozorovatele, kdy může být v některých případech blokován výhled svahem či vzrostlou vegetací, jako u lokality č. 3, a tudíž ani po aktualizaci nemusí dojít k výrazné změně množství viditelných míst (příloha 4).

9. ZÁVĚR

Zjištění v této práci ukázala, že výsledky analýzy viditelnosti jsou ovlivněny jak stářím dat, tak prostorovým rozlišením a polohovou přesností. Starší data v porovnání s novějšími neobsahují tak přesné informace o výšce objektů na zemském povrchu, a to především v oblastech pokrytých vegetací.

Pro aktualizaci byly využity bezpilotní letecké prostředky, pomocí kterých bylo dosaženo mimo časové aktualizace rovněž zlepšení prostorového rozlišení. Samotná aktualizace starších datových sad se ukázala jako klíčová pro zlepšení přesnosti analýzy viditelnosti. Důležitost zpřesnění starších digitálních modelů povrchu potvrdily výsledné hodnoty Kohenova kappa koeficientu, který porovnává celkovou podobnost datových sad. Mimo zhodnocení pomocí statistických metrik byly výsledky vyhodnoceny vizuálně na zájmových lokalitách. Při vizuálním zhodnocení byly potvrzeny výsledky provedených analýz.

Nicméně je důležité zohlednit i vzdálenost, na kterou jsou tato data aktualizována. V závislosti na zvolené vzdálenosti aktualizace se může výrazně lišit množství viditelných a neviditelných ploch. Tato práce potvrdila, že aktualizace dat v blízkosti pozorovatele má nejvyšší efekt na výslednou viditelnost, především v oblastech s náročnými podmínkami terénu a vegetace. U lokalit s takovými podmínkami se taktéž ukázala silná proměnlivost množství viditelných ploch v závislosti na vzdálenosti zpřesnění dat.

Analyzovány byly také digitální modely povrchů vytvořené fúzí více datových sad. Modely vytvořené tímto způsobem však nejsou příliš přesné, a nejsou tak vhodné pro provádění analýz viditelnosti v malém měřítku.

Práce zdůraznila především důležitost využití dat pořízených UAV pro zpřesnění digitálních modelů, i přes omezení a regulace v oblasti jejich použití. Rovněž bylo prokázáno, že mimo stáří dat hraje roli i jejich prostorové rozlišení. Při aktualizaci je nutné brát v úvahu podmínky prostředí v okolí pozorovatele, které mohou ovlivnit viditelnost. Tato práce přináší užitečné poznatky pro další výzkum v oblasti analýzy viditelnosti a tvorby digitálních modelů povrchů.

10. SEZNAM LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

ODBORNÉ PUBLIKACE

ACHILLEOS, G., TSOUCHARAKI, A, 2004: Visibility and viewshed algorithms in an information system for environmental management. *WIT Transactions on Information and Communication Technologies*, 32.

ALPHAN, H., 2021: Modelling potential visibility of wind turbines: A geospatial approach for planning and impact mitigation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, 152: 111675.

ARUN, P. V., 2013: A comparative analysis of different DEM interpolation methods. *The Egyptian journal of remote sensing and space science*, 16.2: 133-139.

BARTIE, P., Reitsma, F., Kingham, S., Mills, S., 2010: Advancing visibility modelling algorithms for urban environments. *Computers, Environment and Urban Systems*, 34.6: 518-531.

BHAGAT, V.; KADA, A.; KUMAR, S., 2019: Suresh. Analysis of remote sensing based vegetation indices (VIs) for unmanned aerial system (UAS): A review. *Remote Sens. Land*, 3: 58-73.

CAHA, J.; RÁŠOVÁ, A., 2015: Line-of-sight derived indices: viewing angle difference to a local horizon and the difference of viewing angle and the slope of line of sight. *Surface models for geosciences*, 61-72.

CAO, C., ZHU, K., XU, P., SHAN, B., YANG, G., SONG, S., 2022: Refined landslide susceptibility analysis based on InSAR technology and UAV multi-source data. *Journal of Cleaner Production*, 368, 133146.

COHEN, J., 1960: A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and psychological measurement*, 20.1: 37-46.

CRONEBORG, L., SAITO, K., MATERA, M., MCKEOWN, D., VAN AARDT, J., 2020: Digital elevation models: A guidance note on how digital elevation models are created and used-includes key definitions, sample terms of reference, and how best to plan a DEM-mission. CUTRONA, L. J. Synthetic aperture radar. *Radar handbook*, 1990, 2: 2333-2346.

DA SILVA, R. G. P., HENKE-OLIVEIRA, C., FERREIRA, E. S., FETTER, R., BARBOSA, R. G., SAITO, C. H., 2020: Systematic Conservation Planning approach based on viewshed analysis for the definition of strategic points on a visitor trail. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 8(3), 153-165.

- DE FLORIANI, L.; MARZANO, P.; PUPPO, E., 1994: Line-of-sight communication on terrain models. *International journal of geographical information systems*, 8.4: 329-342.
- DODD, H. M., 2001: The Validity of Using a GIS Viewshed Function [online]. Blacksburg: Blacksburg, 49 p. PhD Thesis. Diploma thesis. Faculty of the Virginia Polytechnic Institute.
- DOMINGO-SANTOS, J. M., DE-VILLARÁN, R. F., 2016: Visibility analysis. *International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology: People, the Earth, Environment and Technology*, 1-14.
- GAŠPAROVIĆ, M., SELETKOVIĆ, A., BERTA, A., & BALENOVIĆ, I., 2017: The evaluation of photogrammetry-based DSM from low-cost UAV by LiDAR-based DSM. *South-east European forestry: SEEFOR*, 8(2), 117-125.
- GBEDU, A. M.; ADENIYI, G., 2022: Viewshed Analysis of Campus Radio (Search FM 92.3 Mhz) of Federal University of Technology, Minna, Niger State, Nigeria. *TROPICAL JOURNAL OF ENGINEERING, SCIENCE AND TECHNOLOGY*, 2.1: 21-28.
- GERMINO, M. J., REINERS, W. A., BLASKO, B. J., MCLEOD, D., & BASTIAN, C. T., 2001: Estimating visual properties of Rocky Mountain landscapes using GIS. *Landscape and urban planning*, 53(1-4), 71-83.
- HIRT, C., 2016: Digital terrain models. In: *Encyclopedia of geodesy*. Springer, Berlin, New York.
- HONOLD, J., LAKES, T., BEYER, R., & VAN DER MEER, E., 2016: Restoration in urban spaces: Nature views from home, greenways, and public parks. *Environment and behavior*, 48(6), 796-825.
- CHICCO, D.; WARRENS, M. J.; JURMAN, G., 2021: The Matthews correlation coefficient (MCC) is more informative than Cohen's Kappa and Brier score in binary classification assessment. *Ieee Access*, 9: 78368-78381.
- INGLIS, N. C., VUKOMANOVIC, J., COSTANZA, J., & SINGH, K. K., 2022: From viewsheds to viewscapes: Trends in landscape visibility and visual quality research. *Landscape and Urban Planning*, 224, 104424.
- JIANG, K.; SENEVIRATNE, L. D.; EARLES, S. W. E., 1999: A shortest path based path planning algorithm for nonholonomic mobile robots. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 24: 347-366.

JONES, E. E., 2006: Using viewshed analysis to explore settlement choice: A case study of the Onondaga Iroquois. *American Antiquity*, 71(3), 523-538.

KHALIQ, A., MAZZIA, V., CHIABERGE, M., 2019: Refining satellite imagery by using UAV imagery for vineyard environment: A CNN Based approach. In 2019 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor) (pp. 25-29). IEEE.

KIDNER, D., FITZELL, I., RALLINGS, P., NUAIMI, M. A., WARE, A., 1999: A distributed approach for planning radio communications. In 4th International Conference on GeoComputation.

KIM, S. M., 2014: Study of the UAV for application plans and landscape analysis. *Journal of the Korean Institute of Traditional Landscape Architecture*, 32.3: 213-220.

KIM, Y. H., RANA, S., WISE, S., 2004: Exploring multiple viewshed analysis using terrain features and optimisation techniques. *Computers & Geosciences*, 30(9-10), 1019-1032.

KLOUČEK, T., LAGNER, O., ŠÍMOVÁ, P., 2015: How does data accuracy influence the reliability of digital viewshed models? A case study with wind turbines. *Applied Geography*, 64, 46-54.

LABIB, S. M., HUCK, J. J., LINDLEY, S., 2021: Modelling and mapping eye-level greenness visibility exposure using multi-source data at high spatial resolutions. *Science of the Total Environment*, 755, 143050.

LANG, N., JETZ, W., SCHINDLER, K., WEGNER, J. D., 2023: A high-resolution canopy height model of the Earth. *Nature Ecology & Evolution*, 7(11), 1778-1789.

LI, Z., ZHU, C., GOLD, C., 2004: *Digital terrain modeling: principles and methodology*. CRC press.

LLOBERA, M., WHEATLEY, D., STEELE, J., COX, S., PARCHMENT, O., 2010: Calculating the inherent visual structure of a landscape ('total viewshed') using high-throughput computing.

MAJUMDAR, S., 2021: The Role of Remote Sensing and GIS in Military Strategy to Prevent Terror Attacks. *Intelligent Data Analytics for Terror Threat Prediction: Architectures, Methodologies, Techniques and Applications*, 79-94.

MAZZIA, V., COMBA, L., KHALIQ, A., CHIABERGE, M., GAY, P., 2020: UAV and machine learning based refinement of a satellite-driven vegetation index for precision agriculture. *Sensors*, 20(9), 2530.

- MIKITA, T., JANOŠÍKOVÁ, L., CAHA, J., AVOIANI, E., 2023: The Potential of UAV Data as Refinement of Outdated Inputs for Visibility Analyses. *Remote Sensing*, 15(4), 1028.
- MUKUL, M., SRIVASTAVA, V., JADE, S., MUKUL, M., 2017: Uncertainties in the shuttle radar topography mission (SRTM) Heights: Insights from the Indian Himalaya and Peninsula. *Scientific reports*, 7(1), 41672.
- MURGOITIO, J., SHRESTHA, R., GLENN, N., SPAETE, L., 2014: Airborne LiDAR and terrestrial laser scanning derived vegetation obstruction factors for visibility models. *Transactions in GIS*, 18(1), 147-160.
- NUTSFORD, D., REITSMA, F., PEARSON, A. L., KINGHAM, S., 2015: Personalising the viewshed: Visibility analysis from the human perspective. *Applied Geography*, 62, 1-7.
- ØRKA, H. O., NÆSSET, E., BOLLANDSÅS, O. M., 2010: Effects of different sensors and leaf-on and leaf-off canopy conditions on echo distributions and individual tree properties derived from airborne laser scanning. *Remote Sensing of Environment*, 114(7), 1445-1461.
- ORSINI, C., BENOZZI, E., WILLIAMS, V., ROSSI, P., MANCINI, F., 2022: UAV photogrammetry and GIS interpretations of extended archaeological contexts: the case of Tacuile in the Calchaquí area (Argentina). *Drones*, 6(2), 31.
- O'SULLIVAN, D., TURNER, A., 2001: Visibility graphs and landscape visibility analysis. *International journal of geographical information science*, 15.3: 221-237.
- PETER, E. U., EDAN, J. D., EMMANUEL, F. D., 2018: Towards combating security challenges in Jimeta Metropolis using viewshed analysis. *FUTY Journal of the Environment*, 12.1: 33-41.
- POPELKA, S., VOZENILEK, V., 2010: Landscape visibility analysis and their visualisation. *ISPRS Arch*, 38.4.
- POTAPOV, P., LI, X., HERNANDEZ-SERNA, A., TYUKAVINA, A., HANSEN, M. C., KOMMAREDDY, A., PICKENS, A., TURUBANOVA, S., TANG, H., SILVA, C. E., ARMSTON, J., DUBAYAH, R., BLAIR, J. B., HOFTON, M., 2021: Mapping global forest canopy height through integration of GEDI and Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 253, 112165.
- PYKA, K., PISKORSKI, R., JASIŃSKA, A., 2022: LiDAR-based method for analysing landmark visibility to pedestrians in cities: case study in Kraków, Poland. *International Journal of Geographical Information Science*, 36.3: 476-495.

RABUS, B., EINEDER, M., ROTH, A., BAMLER, R., 2003: The shuttle radar topography mission—a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 57(4), 241-262.

RÁŠOVÁ, A., 2018: Vegetation modelling in 2.5 D visibility analysis. *Cartogr. Lett*, 26: 10-20.

RICHBOURG, R. F., RAY, C., CAMPBELL, L. L., 1995: Terrain analysis from visibility metrics. In: *Integrating Photogrammetric Techniques with Scene Analysis and Machine Vision II*. SPIE, p. 208-219.

ROMAN, A., URSU, T., 2016: Multispectral satellite imagery and airborne laser scanning techniques for the detection of archaeological vegetation marks. *Landscape archaeology on the northern frontier of the roman empire at porolissum: an interdisciplinary research project*. Cluj-Napoca: Mega Publishing House, 141-152.

RUA, H., GONÇALVES, A. B., FIGUEIREDO, R., 2013: Assessment of the Lines of Torres Vedras defensive system with visibility analysis. *Journal of Archaeological Science*, 40.4: 2113-2123.

RŮŽIČKOVÁ, K., RŮŽIČKA, J., BITTA, J., 2021: A new GIS-compatible methodology for visibility analysis in digital surface models of earth sites. *Geoscience Frontiers*, 12.4: 101109.

SCHENK, T., 2005: *Introduction to photogrammetry*. The Ohio State University, Columbus, 106.1.

SIWIEC, J., 2018: Comparison of airborne laser scanning of low and high above ground level for selected infrastructure objects. *Journal of Applied Engineering Sciences*, 8.2: 89-96.

SMARDON, Richard C. *Visual impact assessment: where have we come from and where are we going?*. *Journal of Environmental Protection*, 2016, 7.10: 1333-1341.

SMITH, C., COCHRANE, E. E., 2011: How is visibility important for defence? A GIS analysis of sites in the western Fijian Islands. *Archaeology in Oceania*, 46.2: 76-84.

STAL, C., TACK, F., DE MAEYER, P., DE WULF, A., GOOSSENS, R., 2013: Airborne photogrammetry and lidar for DSM extraction and 3D change detection over an urban area—a comparative study. *International Journal of Remote Sensing*, 34(4), 1087-1110.

STÖCKER, C., BENNETT, R., NEX, F., GERKE, M., ZEVENBERGEN, J., 2017: Review of the current state of UAV regulations. *Remote sensing*, 9(5), 459.

ŠAFÁŘ, V., POTŮČKOVÁ, M., KARAS, J., TLUSTÝ, J., ŠTEFANOVÁ, E., JANČOVIČ, M., CÍGLER ŽOFKOVÁ, D., 2021: The use of UAV in cadastral mapping of the Czech Republic. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(6), 380.

TABRIZIAN, P., BARAN, P. K., VAN BERKEL, D., MITASOVA, H., MEENTEMEYER, R., 2020: Modeling restorative potential of urban environments by coupling viewscape analysis of lidar data with experiments in immersive virtual environments. *Landscape and Urban planning*, 195, 103704.

TACK, F., GOOSSENS, R., BUYUKSALIH, G., 2012: Assessment of a photogrammetric approach for urban DSM extraction from tri-stereoscopic satellite imagery. *The Photogrammetric Record*, 27.139: 293-310.

TANDY, C. R. V., 1967: The isovist method of landscape survey. *Methods of landscape analysis*, 10: 9-10.

UNION, I. T., 2015: Nomenclature of the frequency and wavelength bands used in telecommunications. *Recommendation ITU/RV*, 431-438.

VERUTES, G. M., HUANG, C., ESTRELLA, R. R., LOYD, K., 2014: Exploring scenarios of light pollution from coastal development reaching sea turtle nesting beaches near Cabo Pulmo, Mexico. *Global ecology and conservation*, 2, 170-180.

WANDINGER, U., 2005: Introduction to lidar. In: *Lidar: range-resolved optical remote sensing of the atmosphere*. New York, NY: Springer New York, p. 1-18.

WANG, Y., DOU, W., 2020: A fast candidate viewpoints filtering algorithm for multiple viewshed site planning. *International Journal of Geographical Information Science*, 34.3: 448-463.

WASSER, L., DAY, R., CHASMER, L., TAYLOR, A., 2013: Influence of vegetation structure on lidar-derived canopy height and fractional cover in forested riparian buffers during leaf-off and leaf-on conditions. *PLoS One*, 8(1), e54776.

WILSON, J., LINDSEY, G., LIU, G., 2008: Viewshed characteristics of urban pedestrian trails, Indianapolis, Indiana, USA. *Journal of Maps*, 4.1: 108-118.

WU, Z., WANG, Y., GAN, W., ZOU, Y., DONG, W., ZHOU, S., ANG, M., 2023: A survey of the landscape visibility analysis tools and technical improvements. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(3), 1788.

XU, Z. Y., YAO, Q., 2009: A novel algorithm for viewshed based on digital elevation model. In: *2009 Asia-Pacific Conference on Information Processing*. IEEE, p. 294-297.

YONG, F., LI, Z., HUI, G., BINCAI, C., LI, G., HAIYAN, H., 2022: Spaceborne lidar surveying and mapping. In GIS and Spatial Analysis. IntechOpen.

ZHANG, G., VERBREE, E., VAN OOSTEROM, P. J. M., 2017: Study of visibility analysis taking into account vegetation: An approach based on 3D airborne point clouds. In: ISUF 2017: 24th International Seminar on Urban Form" City and Territory in the Globalization Age".

INTERNETOVÉ ZDROJE

EARTH DATA, 2024: Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (online) [cit. 2024.03.15] Dostupné z: <<https://www.earthdata.nasa.gov/sensors/srtm>>

ESA, 2024: Copernicus DEM – Global and European Digital Elevation Model (COP-DEM). [cit. 2024.3.15] Dostupné z: <<https://spacedata.copernicus.eu/collections/copernicus-digital-elevation-model>>

GIS GEOGRAPHY, 2023: Line of Sight vs Viewshed: Visibility Analysis (online) [cit. 2024.02.24], dostupné z <<https://gisgeography.com/line-of-sight-viewshed-visibility-analysis/>>

GIS GEOGRAPHY, 2024: A Complete Guide to LiDAR: Light Detection and Ranging (online) [cit. 2024.03.24], dostupné z <<https://gisgeography.com/lidar-light-detection-and-ranging/>>

UŽIVATELSKÉ DOKUMENTACE

JABLONSKI, James; ALT, Jonathan; THE RESEARCH AND ANALYSIS CENTER. Estimating Geometric Intervisibility to the Aerial Layer with Military Applications. 2019.

AIRBUS, Z. Copernicus DEM: Copernicus digital elevation model product handbook. 2020.

ČÚZK, 2019: Geoprocessingové služby – Analýzy viditelnosti [cit.2024.3.23] Dostupné z: <[https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(wdzqypft4wcljmjv5oqd2dj1\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&side=geoprocessing.viditelnost&text=geoprocessing.viditelnost&head_tab=sekce-03-gp&menu=37](https://geoportal.cuzk.cz/(S(wdzqypft4wcljmjv5oqd2dj1))/Default.aspx?mode=TextMeta&side=geoprocessing.viditelnost&text=geoprocessing.viditelnost&head_tab=sekce-03-gp&menu=37)>

ČÚZK, 2023: GEOPROCESSINGOVÁ SLUŽBA Esri ArcGIS Server – LineOfSight [cit.2024.3.23] Dostupné z: <[https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(wdzqypft4wcljmjv5oqd2dj1\)\)/Default.aspx?mode=Text](https://geoportal.cuzk.cz/(S(wdzqypft4wcljmjv5oqd2dj1))/Default.aspx?mode=Text)>

Meta&side=geoprocessing.viditelnost&metadataID=CZ-CUZK-GP_LOS&metadataXSL=metadata.sluzba>

ČÚZK, 2023: GEOPROCESSINGOVÁ SLUŽBA Esri ArcGIS Server – SkyLineGraph [cit.2024.3.23] Dostupné z: <[https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(wdzqypft4wcljmjv5oqd2dj1\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&side=geoprocessing.viditelnost&metadataID=CZ-CUZK-GP_SKY&metadataXSL=metadata.sluzba](https://geoportal.cuzk.cz/(S(wdzqypft4wcljmjv5oqd2dj1))/Default.aspx?mode=TextMeta&side=geoprocessing.viditelnost&metadataID=CZ-CUZK-GP_SKY&metadataXSL=metadata.sluzba)>

ČÚZK, 2023: GEOPROCESSINGOVÁ SLUŽBA Esri ArcGIS Server – Visibility. [cit.2024.3.23] Dostupné z: <[https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(wdzqypft4wcljmjv5oqd2dj1\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&side=geoprocessing.viditelnost&metadataID=CZ-CUZK-GP_VIS&metadataXSL=metadata.sluzba](https://geoportal.cuzk.cz/(S(wdzqypft4wcljmjv5oqd2dj1))/Default.aspx?mode=TextMeta&side=geoprocessing.viditelnost&metadataID=CZ-CUZK-GP_VIS&metadataXSL=metadata.sluzba)>

ESRI, 2024: Radial Line Of Sight and Range (Defense). ArcGIS Pro 3.2. [cit. 2024.02.26] Dostupné z: <<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/defense/radial-line-of-sight-and-range.htm>>

ORŠULÁK, Tomáš; PACINA, Jan. 3D modelování a virtuální realita. Tomáš Mikulenka, 2012.

ESRI, 2023: An overview of the Visibility toolset. ArcGIS Pro 3.2. [cit. 2024.02.24] Dostupné z: <<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/an-overview-of-the-visibility-toolset.htm>>

ESRI, 2024: Linear Line Of Sight (Defense). ArcGIS Pro 3.2. [cit. 2024.02.25] Dostupné z: <<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/defense/linear-line-of-sight.htm>>

ESRI, 2024: Radial Line Of Sight (Defense). ArcGIS Pro 3.2. [cit. 2024.02.25] Dostupné z: <<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/defense/linear-line-of-sight.htm>>

ESRI, 2024: Viewshed (Spatial Analyst). ArcGIS Pro 3.2. [cit. 2024.02.26] Dostupné z: <<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/viewshed.htm>>

ČÚZK, 2023: ZABAGED® - Výškopis – DMP 1G. [cit.2024.3.15] Dostupné z: <[https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(auqkhdvihht2taj12evfyznj\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&metadataID=CZ-CUZK-DMP1G-V&metadataXSL=Full&side=vyskopis](https://geoportal.cuzk.cz/(S(auqkhdvihht2taj12evfyznj))/Default.aspx?mode=TextMeta&metadataID=CZ-CUZK-DMP1G-V&metadataXSL=Full&side=vyskopis)>

ČÚZK, 2023: ZABAGED® - Výškopis – DMR 5G. [cit.2024.3.15] Dostupné z: <[https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(b4rfbdjsazz32olguvyt2k43\)\)/Default.aspx?mode=TextM eta&metadataID=CZ-CUZK-DMR5G-V&metadataXSL=Full&side=vyskopis](https://geoportal.cuzk.cz/(S(b4rfbdjsazz32olguvyt2k43))/Default.aspx?mode=TextM eta&metadataID=CZ-CUZK-DMR5G-V&metadataXSL=Full&side=vyskopis)>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Vyobrazení LOS a Fresnelovy zóny mezi radiokomunikačními vysílači (TEKON ELECTRONICS, 2023: Line of sight – the real range of wireless communications (online) [cit. 2024.03.26], dostupné z <<https://www.tekonelectronics.com/en/news/tekon-blog/line-of-sight-real-range-wireless-communications/>>

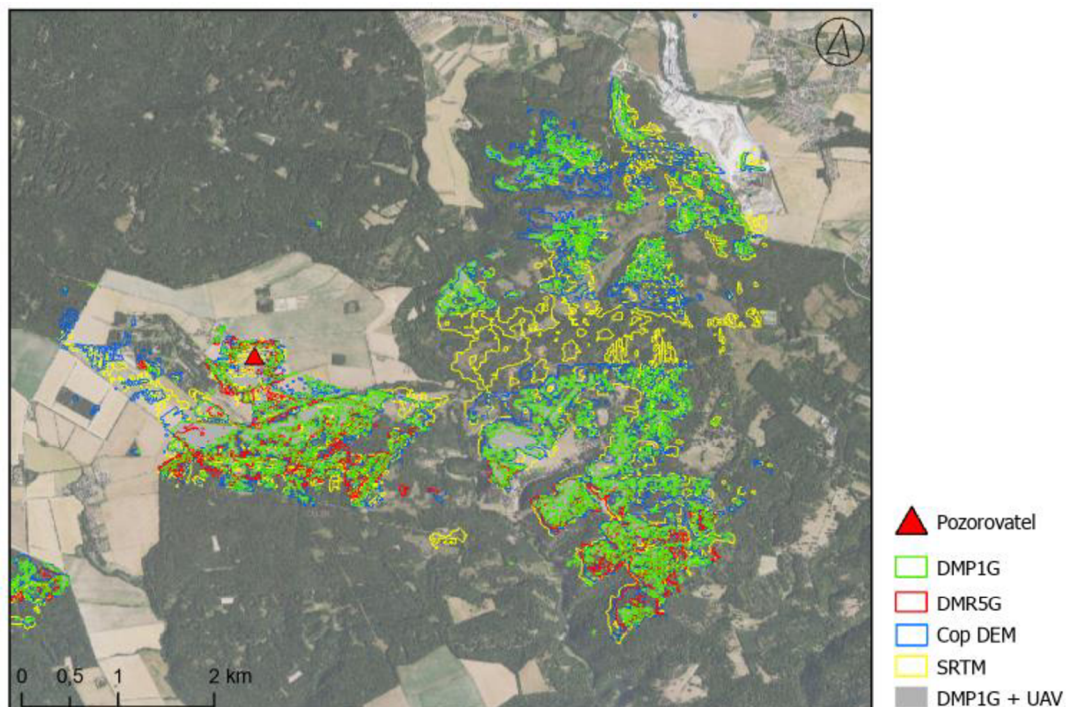
Obrázek 2: Princip analýzy typu viewshed (Verutes et al., 2014)

Obrázek 3: Vyobrazení rozdílu mezi digitálními modely povrchu a terénu (Croneborg et al., 2020)

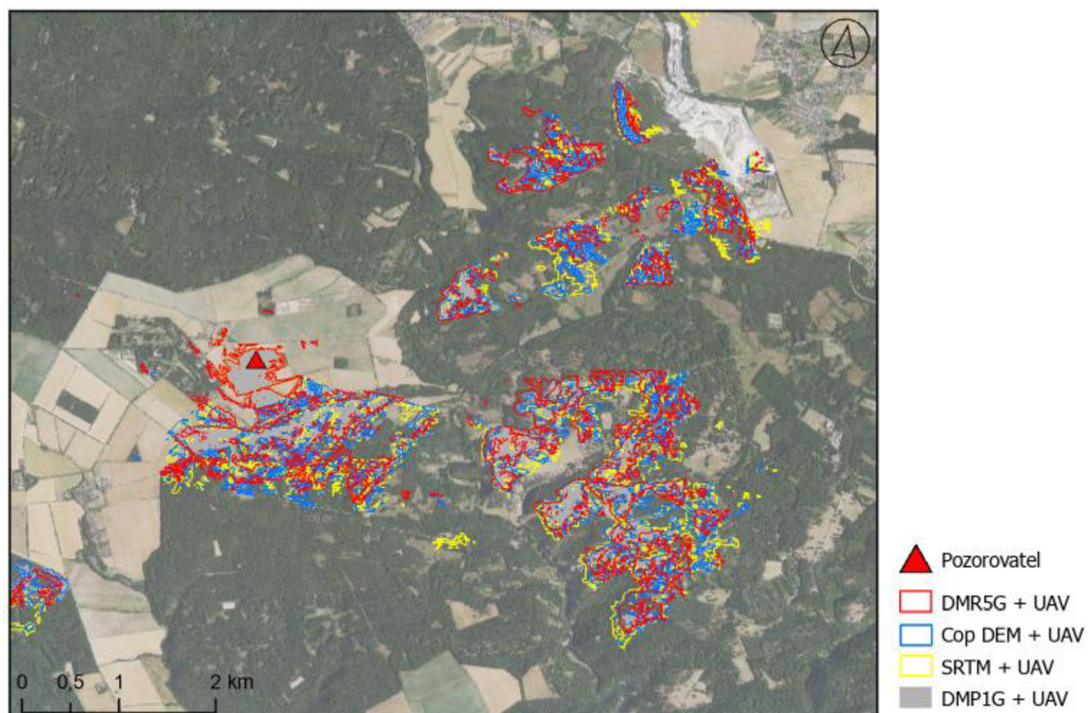
Obrázek 4: Princip leteckého laserového skenování s využitím LiDARového senzoru (Roman & Ursu, 2016)

Tabulka 1: Shrnutí metod pořízení výškových dat (Oršulák & Pacina, 2012)

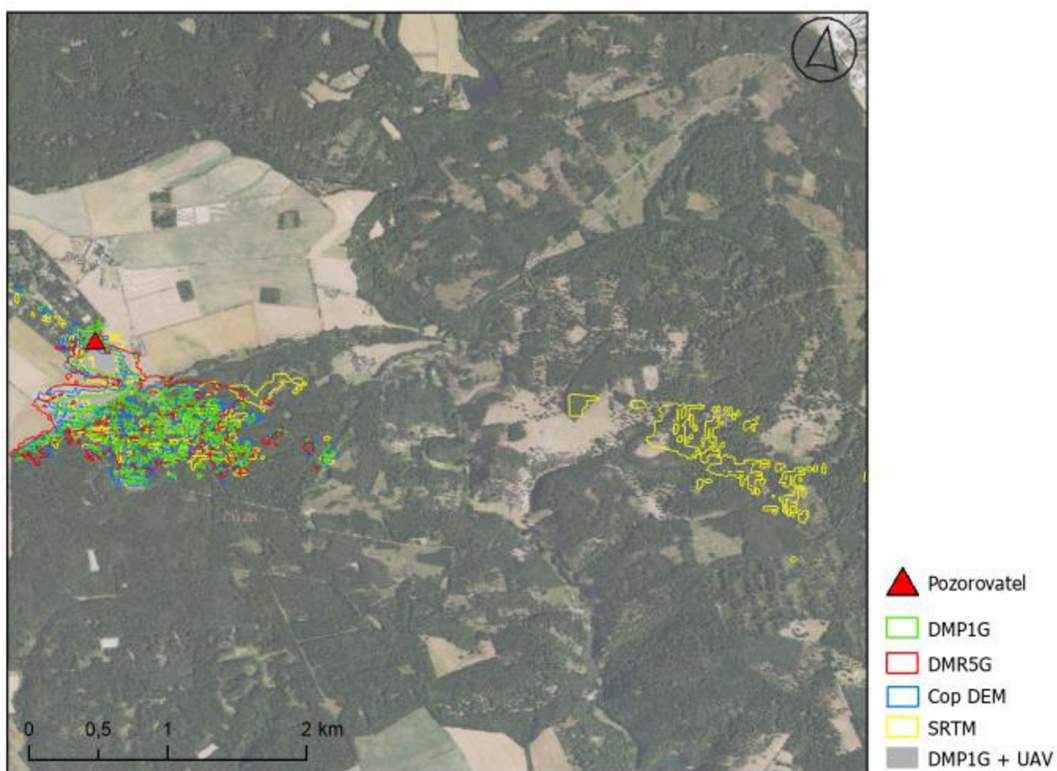
11. PŘÍLOHY



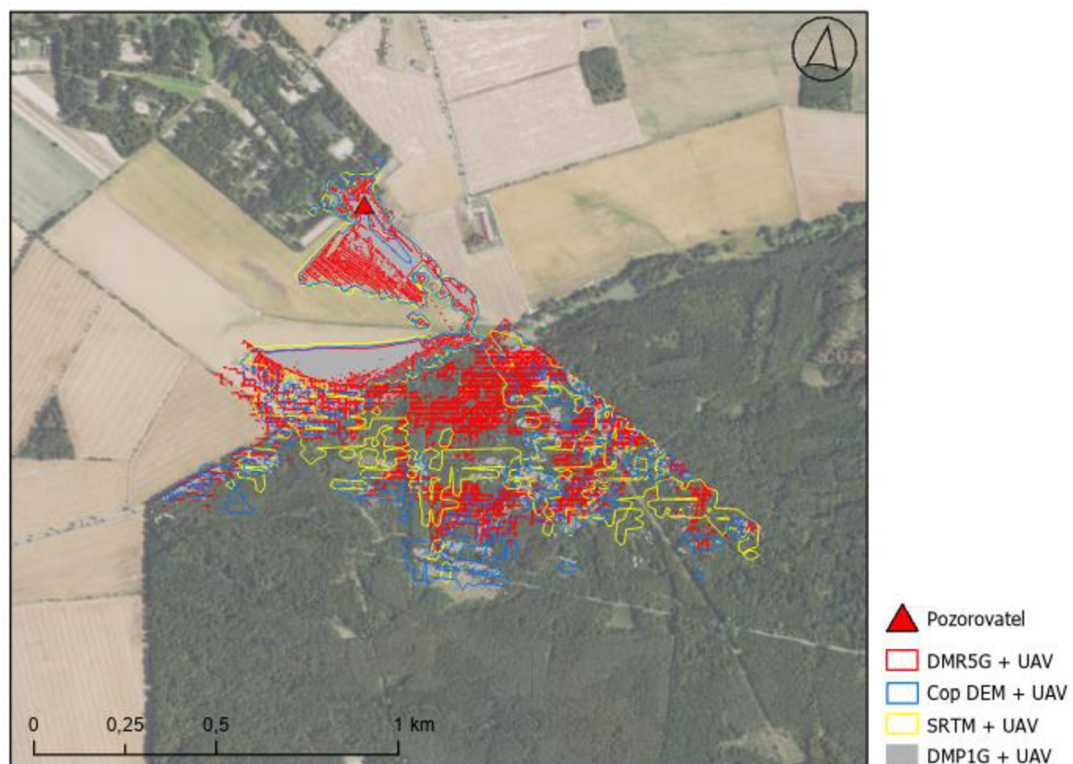
Příloha 1: Vizualizace viditelných míst na lokalitě č. 2 před aktualizací daty UAV (vlastní zpracování, zdroj dat: ČÚZK, 2024)



Příloha 2: Vizualizace viditelných míst na lokalitě č. 2 po aktualizaci daty UAV (vlastní zpracování, zdroj dat: ČÚZK, 2024)



Příloha 3: Vizualizace viditelných míst na lokalitě č. 3 před aktualizací daty UAV (vlastní zpracování, zdroj dat: ČÚZK, 2024)



Příloha 4: Vizualizace viditelných míst na lokalitě č. 3 po aktualizaci daty UAV (vlastní zpracování, zdroj dat: ČÚZK, 2024)