

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: N4106 Zemědělská specializace
Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí
Katedra: Katedra krajinného managementu
Vedoucí katedry: doc. Ing. Pavel Ondr, Csc.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Geodetické zaměření podélného profilu vybrané cyklostezky
a jeho porovnání s jinými zdroji výškopisu**

Vedoucí diplomové práce: Ing. Václav Bystřický, Ph.D.

Autor diplomové práce: Bc. Filip Nyiri

České Budějovice, duben 2021

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě (v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou JU) elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

Datum:

.....

Bc. Filip Nyiri

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá tématem porovnání geodetického zaměření části cyklostezky u obce Purkarec s digitálním modelem povrchu 1G a digitálními modely reliéfu 4G, 5G a s vrstevnicemi z databáze ZABAGED. Jedním z cílů této práce je ověření kvality přesnosti výškopisu jednotlivých DMR, kdy na základě výpočtů a statistických metod lze ověřit pravdivost a spolehlivost jednotlivých technických zpráv. Dalším cílem je porovnání vlastního pozemního měření s aplikací analýzy výškopisu dostupné na internetových stránkách ČÚZK.

Klíčová slova: LiDAR, digitální model reliéfu, výškopis, GIS, aplikace, kvalita

ABSTRACT

This diploma thesis compares different geodetic measurement techniques, digital 1G surface model and digital relief models 4G, 5G with contour lines from the ZABAGED database, on a segment of the cycle path near the village Purkarec. One of the work objectives is to validate the quality of the altimetry accuracy of individual DMR when it is possible to verify the precision and reliability of individual technical reports based on calculations and statistical methods. Another objective is to compare own ground measurements and the application of altimetry analysis available on the ČÚZK website.

Keywords: LiDAR, digital relief model, elevation, GIS, applications, quality

PODĚKOVÁNÍ

Především bych rád poděkoval svému vedoucímu mé diplomové práce Ing. Václavu Bystřickému, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a především ochotu po celou dobu naší spolupráce. Dále bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Mgr. Františku Zemkovi, Ph.D. za poskytnutí digitálního modelu reliéfu 4 generace. A v neposlední řadě svému kolegovi Ing. Zdeňku Mayerovi za poskytnutí cenných rad při tvorbě mé práce.

OBSAH

1	Úvod.....	7
2	Literární rešerše.....	8
2.1	Volba měřítka	8
2.2	Podélný profil	9
2.3	Metody pozemního měření výškopisu.....	9
2.4	Výškopisné podklady pro tvorbu DEM.....	10
2.5	LiDAR a letecké laserové skenování (Airborne Laser Scanning- ALS).....	11
2.6	Technologie a principy LiDARu	13
2.7	Letecké laserové skenování- Airborne laser scanning (ALS)	15
2.8	Full-waveform LiDAR technologie	17
2.9	Digitální terénní modely (DEM)	18
2.10	Tvorba DEM, jeho přesnost a vliv na výsledky následných modelů.....	18
2.11	Aplikace LiDARu, DMT a jejich využití v zemědělství	20
2.11.1	Stanovení biomasy	20
2.11.2	Přesné zemědělství (precision farming).....	21
2.11.3	Kvalita DEM ve vztahu k modelování erozních smyčů	22
2.11.4	Kvalita DEM ve vztahu k hydrologickému modelování.....	22
2.11.5	Mapování půdních vlastností s využitím DEM.....	23
2.11.6	Využití DEM v pozemkových úpravách a krajinném plánování	23
2.12	Rastrový přístup tvorby DEM.....	25
2.13	Shrnutí stávajícího poznání	25
3	Metody a materiál	26
3.1	Cíle práce.....	26
3.2	Zkoumané území	26
3.3	Geodetické práce	30

3.3.1	Metody zpracování vlastního měření a použité softwary	32
3.3.2	Příprava dat pro práci v prostředí ArcGIS map 10.4.1.	34
3.4	Statistický postup porovnávání geodat	35
4	Výsledky a diskuse.....	37
4.1	Postup při zpracování dat v programu ArcGIS	39
4.2	Vyhodnocení kvality DMR 4G a vrstevnic ZABAGED.....	41
4.3	Hodnocení aplikace Analýza výškopisu ČÚZK.....	44
4.3.1	Podélný profil č. 1	46
4.3.2	Podélný profil č. 2	51
4.3.3	Podélný profil č. 3	54
4.3.4	Porovnání trigonometrického a zhušťovacího bodu v aplikaci ČÚZK	57
4.4	Shrnutí výsledků a diskuse	58
5	Závěr	61
6.	Zdroje	63
6.1	Knižní zdroje.....	63
6.2	Internetové zdroje.....	79
7.	Seznam obrázků	80
8.	Seznam map	80
9.	Seznam tabulek	80
10.	Seznam grafů.....	81
11.	Seznam příloh.....	81
12.	Přílohy	82

1 Úvod

U komplexních pozemkových úprav jsou v poslední době kladeny vysoké požadavky na přesnost digitálních výškových modelů Země. Ukazuje se, že stávající postupy sběru výškopisných geodat se v rámci komplexních pozemkových úprav v mnoha ohledech jeví jako neefektivní. Pozemní geodetické měření je časově a finančně velmi náročné. Vystává zde otázka, jak nejefektivněji využít aplikace celosvětově nejmodernější technologie pořizování prostorových geodat, a to leteckého laserového skenování (Lidar) právě pro účely komplexních pozemkových úprav. Z tohoto důvodu mě téma této DP zaujalo, protože toho času pracuji v projekční kanceláři KoPÚ a touto problematikou se zabývám.

Analýza dat v této DP proběhla v obecné rovině a pouze okrajově byla v teoretické části naznačena problematika, která souvisí s komplexními pozemkovými úpravami (modelování erozních smyčů, mapování půdních vlastností, stanovení biomasy, precision farming aj).

Digitální terénní modely hrají základní úlohu při modelování např. atmosférických, hydrologických, geomorfologických a ekologických procesů na povrchu Země či v jeho blízkosti. Topografie plní klíčovou úlohu v hydrologickém modelování, především ve srážkoodtokových modelech v prostředí geografických informačních systémů. Jakákoli nepřesnost ve výškopisných datech anebo ve kvalitě DEM se projeví ve výsledcích navazujících modelů. Jedním z cílů této práce je zjištění spolehlivosti různých výškových zdrojů.

Primárně je tato diplomová práce zaměřena na komparaci výškových modelů DMP 1G, DMR 4G, DMR 5G, vrstevnic ZABAGED a vlastního geodetického zaměření. Zkoumanou oblastí je geodeticky zaměřený podélný profil části cyklostezky Purkarec- Hluboká nad Vltavou. Zároveň jsou porovnány výšky zhušťovacího a trigonometrického bodu nacházejících se v bezprostřední blízkosti cyklostezky, které poskytují další způsob porovnání a tím i ověření pozemního měření.

Vzhledem k volně stažitelným technickým zprávám, které se váží k jednotlivým DMR, lze předpokládat, že nejpřesnější měření reliéfu je zaměření pozemním

způsobem, kde vznikají minimální chyby způsobené zejména lidským faktorem. Lze předpokládat, že výšková data budou méně přesná v zalesněných oblastech, kde dochází ke zkreslení dat kvůli zakrytí povrchu biomasou. V této práci byla ověřena důvěryhodnost různých podkladů pro následné modelování hydrologických, geomorfologických aj. procesů.

Zajímavou a velice snadně dostupnou aplikací pro potřebu KoPÚ je geoprohlížeč ČUZK, který je dostupný na internetových stránkách <https://ags.cuzk.cz/av/>. Aplikace ČUZK obsahuje výškové digitální modely reliéfu 1, 4, 5 generace. Na základě vlastního zaměření sledovaného území dojde ke komparaci a vyhodnocení výsledků kvality a přesnosti jednotlivých modelů této zajímavé aplikace.

2 Literární rešerše

2.1 Volba měřítka

Při práci s geografickými informačními systémy (GIS) všeobecně pro získávání potřebných geodat a práci s nimi je určující volba měřítka, ve kterém budeme pracovat. Vztažné měřítko práce se následně projeví v požadavcích na prostorové rozlišení a přesnost používaných geodat (Li, Wong, 2010; Vaze, 2010).

V oblasti krajinného plánování a pozemkových úprav se pracuje v naprosté většině případů s územími o velikosti stovek hektarů. V analytických pracích se pohybujeme v měřítkách dílčích povodí drobných vodních toků, kde jde nejčastěji o vymezení rozvodnic jednotlivých povodí a mikropovodí či stanovení erozně uzavřených ploch o velikosti řádově do 100 ha. Zde se jako přijatelný kompromis mezi množstvím dat a přesností (generalizací) jeví prostorové rozlišení rastru od 1m do 10m. Při projekčních pracích na jednotlivých liniových (cyklostezka, polní cesta, protierozní mez, průleh, příkop) či plošných stavbách (rybník, polder) pak dochází ještě k většímu přiblížení.

2.2 Podélný profil

Profil je svislý řez terénem, který je posléze při zobrazení rozvinutý do roviny. Podélný profil je veden osou stavby a příčný profil je zvolený ve směru normály k ose stavby. Používají se dvě rozdílná měřítka. Pro délku cesty se nejčastěji používá měřítko 1:1000 a pro výšku se používá zpravidla měřítko 10x větší, a to 1:100. Díky tomu docílíme názornějšího vyjádření spádových poměrů. Měřítka délek a výšek se používají taková, aby co nejlépe graficky vystihovaly dané území (Hánek 2010). Před zaměřením terénu je důležité podélný profil vytyčit, zpravidla dřevěnými kolíky, které jsou umístěny ve stejné vzdálenosti. Jejich vzdálenost se vztahuje k předem určenému výchozímu bodu a označují se jako staničení (kilometráž). Mimo tyto body se do výkresu zaměřují další důležité místa, jako jsou například lomové body terénu aj. (Fišer, 2006).

Při grafickém znázornění podélného profilu je důležité si zvolit vhodnou srovnávací rovinu. Tato rovina je dána nadmořskou výškou a zvolením si správného výškového systému. Zpravidla se v České republice používá Bpv. Nad samotnou kresbou se znázorňuje katastrální území, kultura, popřípadě parcelní číslo pozemku. Pod vhodně zvolenou srovnávací rovinu se udává staničení v km, vzdálenost příčných profilů, směrové a spádové poměry. Směrové poměry se ve výkresu vyznačují červeně a terén černě. Podle Hánek 2010 se píše jednotlivé kóty 15 mm od srovnávací roviny. Čáry výškových kót se přerušují v délce 10 mm pro zápis kót.

2.3 Metody pozemního měření výškopisu

Podle Fišera (2006) můžeme definovat celkem 4 zeměměřické metody výškopisného zaměření. Metoda geodetická, fotogrametrická, GPS a fyzikální. Pro naše účely se budeme zabývat metodou geodetickou, do které patří plošná nivelace, profilování (měření profilů), tachymetrie nitková a tachymetrie přesná s využitím elektrických dálkoměrů.

Plošná nivelace: Tuto metodu využíváme především tehdy, pokud máme aktuální a kvalitní polohopisný podklad a pokud je terén rovinný a přehledný. Body u kterých chceme zjistit výšku, musí být jednoznačně polohově určeny (Fišer, 2006).

Profilování: Tuto metodu používáme zejména u liniových staveb (železnice, silniční komunikace, vodní toky aj.). Kolmo od podélné osy zaměřujeme příčné profily. Z jednotlivých příčných profilů posléze vytvoříme profil podélný (Fišer, 2006).

Tachymetrie nitková: Tato metoda je především využívána v extravilánu, kde se nachází členitý a obtížně průhledný terén. Jsou to především zahrady, sady, vinohrady, chmelnice, parky, lesy, vodní plochy a jejich břehy. Při této metodě využíváme nivelační lať (Fišer, 2006).

Tachymetrie přesná: U této metody máme možnost měřit zároveň polohopis a výškopis. Využíváme elektrické dálkoměry. Tato metoda bude využívána při měření sledovaného území této diplomové práce (Fišer, 2006).

2.4 Výškopisné podklady pro tvorbu DEM

Pacina (2017) píše, že ČÚZK poskytuje pro území České republiky geodata tzv. DMP 1G, DMR 4G, a DMR 5G. DMP 1G reprezentuje „první“ odraz laserového paprsku- tedy výsledná data zahrnují veškerou vegetaci, domy a další antropogenní prvky. DMR 4G a 5G reprezentují holý terén (bez vegetace, domů, ...) v různých mírách podrobnosti a přesnosti. V současné praxi lze v České republice využít následující výškopisná data:

1) 3D digitální vrstevnice ZABAGED

Výškopisnou část ZABAGED tvoří 3 typy objektů vrstevnic se základním intervalem 5, 2 nebo 1 m v závislosti na charakteru terénu. Obsah datové sady „ZABAGED - výškopis - 3D vrstevnice“ je doplněn dalšími vybranými výškopisnými prvky – klasifikovanými hranami a body, které byly vyhodnoceny stereofotogrammetrickou metodou při zpřesňování vrstevnicového výškopisu a jsou uživateli nabízeny k případnému dalšímu využití.

2) ZABAGED – výškopis – grid (sít) 10 x 10 m

Výškopisnou část ZABAGED doplňuje odvozený digitální model terénu v podobě pravidelné mříže (10x10 m) trojrozměrně vedených (3D) bodů.

3) Geodetické pozemní zaměření

Geodetické zaměření zájmové lokality se vyznačuje nejvyšší možnou přesností výsledných geodat, ale také velmi vysokou časovou a finanční náročností na pořízení.

4) LiDARové produkty ČUZK

Na projektu tvorby nového výškopisu území České republiky se podílejí Český úřad zeměměřický a katastrální (ČUZK), Ministerstvo zemědělství České republiky (Mze ČR) a Ministerstvo obrany České republiky (MO ČR). Základní metodou sběru výškopisných dat pro tento projekt je letecké laserové skenování.

Následným zpracováním dat vznikly výsledné výškopisné produkty:

- Digitální model reliéfu území České republiky 4. generace (DMR 4G) ve formě pravidelné sítě bodů 5x5 metrů,
- Digitální model reliéfu území České republiky 5. generace (DMR 5G) ve formě nepravidelné sítě vybraných výškových bodů (TIN),
- Digitální model povrchu území České republiky 1. generace (DMP 1G), obsahující navíc prvky, které se nacházejí na povrchu terénu. Podrobné informace jsou uvedeny především v publikacích Brázdila (2010, 2012a, 2012b).

2.5 LiDAR a letecké laserové skenování (Airborne Laser Scanning- ALS)

K tomu abychom pochopili princip sběru dat LiDARU, je nutné nejprve pochopit princip laserového paprsku.

Podle Mocka (2017) se jedná o optický zdroj elektromagnetického záření. Klasické světlo se skládá z neorganizovaného, náhodného uspořádání fotonů, přičemž laserový paprsek je složený proud přesně organizovaných fotonů. Tyto paprsky se chovají stejně a letí organizovaně vedle sebe. Mocek 2017 píše, že světelný paprsek, který vychází z laseru je koherentní a monochromatický. Jeho fotony, kterými je tvořen mají stejnou fázi, polarizaci a frekvenci. Když víme, jak se laserové paprsky

chovají a známe jejich veškeré vlastnosti, je možné je využít v širokém spektru různých oborů.

Organizované uspořádání fotonů paprsků vzniká mezi dvěma zrcadly. Jedno je dokonalé a druhé je polopropustné. Prostředí, kde vznikají ideální paprsky anebo pulsy, se nazývá optický rezonátor. Fotony se odrážejí v optickém rezonátoru tak dlouho, dokud nenabydou potřebných vlastností a do té doby, než jich bude dostatek. Posléze jsou dokonalé paprsky propuštěny přes polopropustné zrcadlo ven, buď v podobě paprsku nebo pulsu. Prostředí, ve kterém jsou fotony vytvářeny, může být pevné, kapalné a plynné.

Mocek (2017) uvádí, že pevnolátkové lasery obsahují izolanty s příměsí vhodných iontů a mohou pracovat v různých režimech a za různých provozních podmínek, jsou stabilní a mají minimální nároky na údržbu. Vydávají záření v oblasti vlnových délek infračerveného a viditelného světla. Nejznámějším představitelem je rubínový laser – prostředím je krystal syntetického rubínu a jedná se o první typ laseru, který byl fyzicky zkonstruován. V současnosti je nejrozšířenější neodymový laser (Nd:YAG), který vyzařuje infračervené záření a je využíván zejména v medicíně. Kapalinové lasery využívají roztoky organických barviv a dosahují prakticky všech vlnových délek od 300nm do 1500nm. Využití naleznou ve spektroskopii. Nevýhodou kapalinových laserů je životnost jejich aktivního prostředí. Aktivní prostředí plynových laserů je tvořené atomy, ionty nebo molekulami plynů a jeho výhodou je homogenita prostředí v celém objemu, což zajišťuje výborné parametry laseru. Další výhodou je možnost práce ve velmi širokém rozsahu vlnových délek v kontinuálním nebo pulsním režimu. K nejrozšířenějším typům patří červeně zářící helium- neonový laser, který je např. v zaměřovačích či laserových ukazovátkách. V průmyslu a medicíně se nejvíce používá infračervený laser CO₂. Pro světelné efekty se často užívá modře a zeleně zářící laser argonový.

Zdrojem laserového záření mohou být u výkonných lidarů pevnolátkové lasery rubínové nebo jiné modernější. U méně výkonných laserů se používají lasery diodové. Pro zvolení správného typu laseru záleží na požadovaném výkonu a na požadované vlnové délce záření. Vyslaný paprsek ze zdroje záření, pro naše potřeby, dopadá na zemský povrch, od kterého se odráží zpět. Takto odražený paprsek je zachytáván tzv. detektorem. Tento detektor musí být velmi citlivý. Dolanský (2004) píše, že jako detektory jsou používány světlocitlivé diody spektrálně synchronizované na stejnou

vlnovou délku, jako je vysílané laserové záření. Možnosti různých vlnových délek lze s výhodou použít při napodobení multispektrálního průzkumu, kdy se znalostí spektrálního chování materiálu, lze odvozovat další nepřímé informace.

2.6 Technologie a principy LiDARu

Podle Dolanského (2004) je LiDAR (Light Detection And Ranging) využíván v mnoha oborech různě. Lze ho uplatnit pro měření například v mapování zemského povrchu, v měření oblačnosti, popřípadě v měření ozónové vrstvy, v meteorologii, v ochraně životního prostředí, ale také jsou tyto lidarové přístroje využívány policií, kde v kombinaci s kamerovým systémem umožňují měřit rychlost vozidel.

Podle Klimánka (2006) je LiDAR založen na analýze vyslaných svazků laserových paprsků z nosiče, kde je poloha nosiče přesně známa. Vyslaný laserový paprsek z nosiče dopadá na povrch Země a odráží se v podobě echa zpátky k senzoru. Kolejka (2002) uvádí obecně platnou úměrnost, čím větší frekvenci impulsů laser vysílá, tím přesnější informaci pořizuje.

LiDAR užívá technologii opticko-mechanického skenování, stejně jako mnoho multispektrálních skenerů. Laserové skenery jsou na rozdíl od nich systémy aktivní, protože vysílají laserový paprsek. Z tohoto důvodu je nutné, aby byly hodnoceny dva paprsky – vyslaný laserový paprsek a jeho část, která se navrácí zpět. Všechny systémy měří určitým způsobem vzdálenost mezi senzorem a bodem na povrchu, který byl ozářen vyslaným paprskem. Na rozdíl od mikrovlnné radarové technologie jsou k měření vzdáleností vhodné právě lasery, a to ze dvou důvodů: vysokoenergetické pulsy mohou být realizovány v krátkých intervalech a jejich paprsky o kratší vlnové délce lze kolimovat pomocí relativně malých zařízení. Z těchto důvodů vznikla technologie zvláště přesných měření velmi brzy po příchodu laserů (Wehr, Lohr, 1999).

Jsou používány dva základní způsoby vysílání paprsku: (a) pulzní, (b) kontinuální, s měřením fázového posunu.

Přesnost vzniklých 3D souřadnic závisí na mnoha faktorech. Hlavními jsou:

- a) přesnost určení vzdálenosti,
- b) pozice laserového paprsku,
- c) směr laserového paprsku.

Protože výsledky měření jsou většinou určeny v souřadném systému WGS84, závisí finální výsledky také na přesnosti transformace z WGS84 na lokální souřadné systémy, které zahrnují také zvlnění geoidu, jež může být vzhledem k všeobecné přesnosti technologie ALS velmi významné. Kromě toho, protože vzdálenost, pozice a směr paprsku bývají měřeny různými oddělenými snímači, je výsledek ovlivněn také jejich časovou synchronizací (Baltsavias, 1999).

Technologie LiDARu přináší rychlou a přesnou alternativu pro mapování velkých ploch ve vysokém rozlišení a postupně je přijímána jako primární způsob získávání digitálních výškových modelů (z angl. DEM – Digital Elevation Model) (Meng a kol., ; Liu, 2008; Mandlbürger a kol., 2007).

Spojené státy americké a některé evropské země začaly využívat LiDAR systémy pro generování DEM od regionálních úrovní až po národní produkty (Petzold, 1999).

LiDAR je lepší technologií než-li tradiční metody dálkového průzkumu země pro tvorbu digitálních modelů výškopisu nejméně z pěti souvisejících důvodů (Meng a kol., 2010):

- a) LiDAR zajišťuje data pro DEM s vysokou přesností a rozlišením.
- b) Výšková analýza tzv. mračna LiDARových bodů umožňuje extrakci různých povrchových objektů, jako jsou stormy, budovy, elektrické vedení či potrubí (Baltsavias, 1999b; Brovelli, 2004; Silván-Cárdenas, 2006).
- c) Hustá mračna bodů jsou schopna identifikovat i malé změny ve výškách (Lin, Mills, 2010).
- d) Laserové pulsy jsou schopny pronikat korunami stromů či jiné vegetace a pomocí zjištěné struktury lze vegetaci klasifikovat (Raber, 2002), včetně tvorby map drsností povrchu založených na výšce vegetace (Streutker, Glenn, 2006).
- e) A konečně, díky vícenásobným odrazům lze mapovat výšky povrchu i tehdy, nachází-li se pod hustým porostem (Baltsavias, 1999b).

2.7 Letecké laserové skenování- Airborne laser scanning (ALS)

Letecké laserové skenování (ALS) je technika aktivního dálkového průzkumu, která sleduje přímé měření vzdálenosti mezi laserovým skenerem a povrchem Země. Tyto vzdálenosti jsou zaznamenány pomocí mračen 3D bodů. Přesnost měření výšek je vysoká (< 0.1 m). V závislosti na geometrii povrchu, na který dopadá laserový paprsek, může být zaznamenán vícenásobný odraz z jediného vyslaného pulzu. To přináší zajímavé možnosti při zkoumání zalesněných oblastí, protože LiDARový systém zde může, na rozdíl od fotogrammetrie, zároveň změřit jak výšku koruny, tak i zemského povrchu. LiDARová data jsou užitečná také v mnoha jiných specifických aplikacích, jako jsou 3D modely měst, měření mostů, elektrického vedení či tvorba digitálních modelů terénu (Mallet, Bretar, 2009).

Využívání LiDARové technologie pro přesné měření povrchu Země začalo v 70. letech 20. století (Lillesand a kol., 2004). Jeden z prvních systémů tohoto druhu byl Atmospheric Oceanographic LiDAR (AOL), vyvinutý NASA a NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) v roce 1975. Cílem tohoto programu bylo zjistit potenciál leteckého LiDARového skenování v oblasti měření výšek, hydrografie a fluorescence. V roce 1994 vyvinula NASA zvláštní letecký LiDARový systém pro topografické mapování. Tento systém, pojmenovaný Airborne Topographic Mapper (ATM), byl primárně zaměřen na zmapování výšek polárních ledových příkrovů a měření topografie mořského ledu v centrální arktické pánvi, oceánských pláží a drenážní sítě (Hollaus, 2006).

Letecký LiDARový systém je typicky sestaven ze tří hlavních součástí: laserový skener, přijímač GPS (Global Positioning System) a IMU (Inertial Measurement Unit). (Hollaus a kol., 2005; Reutebuch a kol., 2005; Webster a Dias, 2006). Přesnost bodů určených LiDAREm závisí na přesnosti GPS a IMU. 3D LiDARové body jsou určeny zeměpisnou šířkou, délkou a elipsoidickou výškou na referenčním elipsoidu WGS84. Mohou být následně polohově přetransformovány do národních anebo regionálních souřadných systémů. Převedení výšek z elipsoidických do národních (v ČR je platný systém Bpv – Balt po vyrovnání) se provádí pomocí modelu, který regionálně porovná výšky geoidu s výškami v národním systému (Webster, Dias, 2006).

LiDARová data jsou konkrétně nejčastěji distribuována v textových (ASCII) souborech, které obsahují souřadnice ve tvaru x, y, z a (pokud si to uživatel objedná) také informace o intenzitě odraženého signálu (Liu a kol., 2007). Tato data jsou samozřejmě schopna podat pouze základní geometrické informace o snímané scéně. V návaznosti na tento fakt vyvinulo mnoho autorů nové automatické mapovací algoritmy, používané pro klasifikaci bodů (Evans, Hudak, 2007; Filin, 2002; Sithole, 2005), modelování městské zástavby (Haala, Brenner, 1999; Rottensteiner, Briese, 2002) či lesní hospodářství (Hyypä a kol., 2004).

V téměř všech aplikacích LiDARu je nezbytným krokem oddělení (filtrace) bodů rostlého terénu, respektive odlišení odrazů na terén („ground“) a „non-ground“. To je samozřejmě problémem v oblastech s vysokou variabilitou povrchů. Hlavní zásady rozvoje a aplikací této filtrace jsou popsány v práci Menga a kol. (2010).

První komerčně využitelné letecké skenery umožňovaly záznam pouze jednoho odrazu na jeden vyslaný laserový puls – tzv. „single echo“. Tento systém je dostačující tehdy, pokud lze předpokládat, že v cestě laserového paprsku stojí pouze jeden předmět. Nicméně, i v případě, jedná-li se o systémy s malou plochou paprsku (tzv. „footprint“) o velikosti 0.2-2 m, může stát v cestě paprsku mnoho objektů a na každém z nich dochází k rozptylu a odrazu signálu. Systémy, které jsou schopny zaznamenat více odražených pulzů na jeden vyslaný, se nazývají „multi-echo“ anebo „multiple pulse“. Typicky zaznamenávají první a poslední odraz, některé systémy jsou schopny zaznamenat až šest odražených pulzů na jeden vyslaný (Thiel, Wehr, 2004). První dva odrazy však zahrnují téměř 90% celkové vyslané energie signálu. Detekce většího počtu než pěti odražených pulzů proto vyžaduje schopnost odlišit signál o slabé intenzitě oproti šumu (Mallet, Bretar, 2009).

Úhrnem lze konstatovat, že letecké laserové skenování je přesná, rychlá a univerzální metoda měření, která je schopna doplňovat nebo i částečně nahrazovat ostatní technologie sběru geodat s velkou perspektivou rozvoje různých aplikací (Wehr, Lohr, 1999).

2.8 Full-waveform LiDAR technologie

V roce 2004 byl v práci Huga a kol. (2004) představen první komerční „full waveform“ letecký LiDARový systém. Tento systém byl schopen přinejmenším stejné přesnosti jako konvenční LiDARové systémy, přinášel však další možnosti zvýšení přesnosti, dále pokročilé možnosti analýzy povrchů a všeobecně hlubší škálu poskytovaných informací pro mnoho různých aplikací.

„Full-waveform“ LiDARové systémy jsou schopny zdigitalizovat a zaznamenat celý tvar spojité vlny odraženého signálu, což umožňuje vyhodnocovat fyziku objektů nacházejících se ve stopě signálu, jejich reflektanci a geometrii. To poskytuje konečnému uživateli více možností interpretace výsledků (Mallet, Bretar, 2009), oproti konvenčním systémům je však nutno provést navíc radiometrickou kalibraci (Wagner, 2010).

Dále jsou popsány různé typy Full-waveform LiDARových systémů:

- 1) Bathymetrické LiDARové systémy – jsou navrženy pro přesné určování hloubky moře. První takové full-waveform systémy vznikly již v 80. letech 20. století (Guenther, Mesick, 1988).
- 2) Experimentální LiDARové systémy – prototypy vyvinuté NASA. Jedná se o letecké či satelitní systémy pro různé účely: SLICER (scanning LiDAR Imager of Canopies by Echo Recovery), SLA (Shuttle Laser Altimeter), LVIS (Laser Vegetation Imaging Sensor), MBLA (Multi-Beam Laser Altimeter), GLAS (Geoscience Laser Altimeter System). Jednalo se sice o systémy „large footprint“, tedy disponující malým prostorovým rozlišením, ale jejich schopnost zaznamenat celou distribuci odraženého signálu (tzn. celou vlnu) byla s úspěchem využita i pro zjišťování struktury vegetace, například výšky lesních porostů – footprint (Hollaus, 2006).
- 3) Komerční Full-waveform LiDARové systémy – tzv. „small footprint“ – s velkým prostorovým rozlišením, popsané u Huga a kol. (2004).

2.9 Digitální terénní modely (DEM)

S nástupem 21. století dochází ke zkvalitňování a vytváření nových výškopisných modelů reliéfu České republiky. V roce 2001 byl vytvořen nový výškopisný model reliéfu tzv. Digitální model reliéfu úrovně 2,5 (DMR 2,5), který nahradil dosavadní DMR 2. V roce 1998 začal vznikat DMR 3, který byl dokončen v roce 2008, stejného roku byl uveden i do provozu. DMR 3 vznikl na základě ortogonalizace leteckých měřických snímků a na základě aktualizace DMÚ 25. S leteckým laserovým snímkováním, který slouží pro účely vytvořit nový a přesnější digitální model reliéfu, se začalo v roce 2009. Tento projekt byl realizován za pomoci Ministerstva obrany, Ministerstva zemědělství a Českého úřadu zeměměřického a katastrálního. Výslednými produkty byly DMR 4, ve formě mříže (GRID) 5x5 m se střední chybou výšky 0,3 m v odkrytém terénu a 1m v zalesněném terénu, a DMR5 ve formě nepravidelné sítě výškových bodů (TIN) se střední chybou výšky 0,18 m v odkrytém terénu a 0,3 m v zalesněném terénu. Dále byl vytvořen digitální model povrchu 1. generace (DMP 1G) (Broušek, 2011).

2.10 Tvorba DEM, jeho přesnost a vliv na výsledky následných modelů

Digitální terénní modely hrají základní úlohu při modelování atmosférických, geomorfologických, hydrologických a ekologických procesů na povrchu Země či blízko něj, dále i pro rozhodovací modely prací při přírodních katastrofách (Schumann a kol., 2008). Topografie hraje klíčovou úlohu v hydrologickém modelování, především ve srážkoodtokových modelech v prostředí geografických informačních systémů (Wu, 2007). Jakákoli nepřesnost ve výškopisných datech se projeví ve výsledcích modelu (Wu, 2008).

Wilson (2012) uvádí různé zdroje dat pro tvorbu digitálních výškových modelů: terénní průzkum, GPS měření, digitalizace papírových mapových podkladů, stereofotogrammetrie, LiDAR, isSAR/IfSAR, SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), ASTER, SPOT.

Některé digitální modely terénu (DEM) jsou volně dostupnými produkty: ASTER, SRTM či GTOPO 30. Každý DEM se vyznačuje svou určitou vlastní chybou, danou v první řadě technologií sběru primárních zdrojových dat, ale i metodou jejich

zpracování v závislosti na vlastnostech konkrétního terénu a terénního pokryvu. Nevýhodou představuje především fakt, že přesnost těchto datasetů je často obecně neznámá a navíc ještě nejednotná v různých částech konkrétního datasetu. Pokud porovnáváme jednotlivé produkty mezi sebou, rozdíl jejich výšek získáme jednoduše jejich odečtením, dále je vhodné porovnávat deriváty modelů terénu, jako je sklonitost, generovaná drenážní síť či morfologie terénu (Mukherjee, 2013).

Přesnost DEM může být definována jako rozdíl ve výškách DEM od výšek skutečného povrchu, ze kterého je DEM konstruován (Fisher, 1993). Li a Wong (2010) zhodnotili, jak různě kvalitní zdrojová data pro tvorbu DEM ovlivňují výstupy z hydrologických analýz nad modely terénu, a to konkrétně drenážní síť a simulace záplav. V rámci datasetů, které porovnávali, vyšla jako nepřesnější data LiDAR (s rozlišením 2m) a SRTM data jako nejméně přesná. Nicméně, vztah mezi kvalitou zdrojových dat a spolehlivostí výsledků hydrologických analýz nad DEM může být zmírněn jednak vhodnými úpravami dat a jednak volbou vztažného měřítka, ve kterém jsou výsledky analýz vyhodnocovány.

Kvalita hydrologických analýz odvozovaných z DEM je citlivá za prvé na přesnost DEM a za druhé na prostorové rozlišení. Byly zjištěny významné rozdíly mezi hodnotami výšky a sklonu odvozovanými z LiDAR DEM o vysokém rozlišení a DEM odvozeného z vrstevnic o nízkém rozlišení. Trasy hydrologických rozvodnic (rozhraní povodí) odvozené z těchto různých podkladů se také značně liší. I když se zde jednalo o modely terénu s totožným prostorovým rozlišením (25 m pro NSW DEM i resamplovaný LiDAR DEM), vyšší výšková přesnost LiDARu dala získat o mnoho přesnější průběh rozvodnic. DEM odvozený z LiDAR dat oplývající vysokým prostorovým rozlišením i vysokou přesností používaný jako podklad pro hydrologické analýzy zvyšuje kvalitu jejich výsledků. Pokud je uživatel limitován v tom smyslu, že nelze použít DEM o vysokém prostorovém rozlišení z důvodu objemu dat, výpočetní kapacity či času, je lépe převést (resamplovat) tento DEM do nižšího prostorového rozlišení a pracovat s ním dále, namísto využití méně přesného DEM z jiných zdrojů, například z vrstevnic (Vaze, 2010). Sorensen (2007) nicméně upozorňuje, že DEM má ve svém optimálním rozlišení především kvalitně postihnout právě takové topografické prvky, které jsou zásadní pro žádanou analýzu. Použití vyššího rozlišení, než je v tomto ohledu optimální, může za některých

okolností výsledky relativně zhoršit než zlepšit. Rovnítka mezi rozlišením a kvalitou výstupů nelze položit automaticky a vždy.

Tradiční metody přípravy DEM, jako je pozemní měření či fotogrammetrie, mohou přinést výšková data s vysokou přesností, ale jsou náročné na čas i lidskou práci. Navíc v některých případech například v zalesněných oblastech nelze pomocí fotogrammetrie zjistit výšku rostlého povrchu pod příkrovem stromů. LiDAR a letecké laserové skenování přináší alternativní řešení pro získávání 3D terénních dat ve velké přesnosti a objemech. Pro tvorbu DEM z LiDAR dat je nejpodstatnější fáze separace měřených bodů na body na terénu a mimo terén („ground“ a „non-ground“ body) (Liu, 2008).

Co se týče konkrétní tvorby DEM Chen (2010) popisuje základní metody tvorby spojitých rastrových povrchů z diskrétních zdrojových dat v software ArcGIS (ARC/INFO): IDW, SPLINE, KRIGING, s tím, že navrhuje také vlastní novou metodu SMTS, dosahující vyšší přesnosti a lepších výsledků. Alternativou k postupům v ArcGIS (ARC/INFO) systémech je metoda RST využívaná v gisovém systému GRASS (Mitášová, Mitáš, 1993; Mitášová, Hofierka, 1993; Mitášová a kol., 2005; Hofierka a kol., 2002).

2.11 Aplikace LiDARu, DMT a jejich využití v zemědělství

Využití aplikací LiDARu a digitálních modelů terénu je velice široké. Nyní si shrneme největší přínosy zmíněných aplikací, které můžeme využít např. pro stanovení biomasy, k přesnému zemědělství, modelování erozních smyčů, hydrologickému modelování, mapování půdních vlastností a v neposlední řadě využití LiDARu v komplexních pozemkových úpravách a krajinném plánování.

2.11.1 Stanovení biomasy

Sledování výnosu je klíčový komponent sledování pro stanovení bioenergie plodin (Zhang, Grift, 2012). Technika měření výšky rostlin je v posledních letech široce zkoumána v oblasti lesnictví: Ulander a kol. (1995) a Shimada a kol. (2001) aplikovali dálkové pozorování Země pomocí radaru (Synthetic Aperture Radar – SAR) a využili modely založené na interferometrii, aby změřili výšku stromů. Již v 90. letech využili Magnussen a kol. (1999) a Nilsson (1996) ke stejnému účelu letecký LiDAR,

stejně jako později Kwak a kol. (2007). Yamamoto a kol. (2011) určil pomocí leteckého LiDARu průměrnou výšku stromů v lese s chybou menší než 1 m.

V případě měření zemědělských plodin narážíme na některé komplikace, na které poukázali např. Zhang a Grift (2012) na rostlině zvané Ozdobnice čínská (*Miscanthus giganteus*). Kmeny jsou užší a menší než u normálních stromů, a proto je pro jejich měření potřeba větší přesnosti. Proto byl pro jejich měření použit LiDAR.

Další technologií pro měření biomasy polních plodin je osazení senzorů na přední části sklízecí mlátičky. Senzory měří hustotu porostu obilí a určují objem hmoty. Na základě výpočtu objemu senzoru, se přizpůsobuje rychlost sklízecí mlátičky a tím se maximalizuje účinnost. Tento postup se ukazuje být jako perspektivní (Saeys a kol, 2009).

2.11.2 Přesné zemědělství (precision farming)

Spotřeba potravin celosvětově stále roste a vytváří tlak na změnu přístupů a automatizace v zemědělské výrobě. Značné výzkumné úsilí je investováno na postupy pěstování a sklizně plodin. Jak shrnuje Lenaerts (2012), LiDARové sensory jsou často užívány pro snímání plodin. Ehlert a kol. (2010) dokázali stanovit výnos ozimé pšenice pomocí skenování pole leteckým LiDAREm a také testovali stanovení biomasy řepky olejky, ozimého žita, ozimé pšenice, ovsa a trávy pozemním LiDAREm. Kaizu a Noguchi (2009) využili letecký LiDAR obdobně u trvalých travních porostů.

McKinion a kol. (2010a) prezentují metodiku tvorby klasifikované výnosové mapy bavlny a obilí založené na velmi přesném modelu terénu (DEM) s prostorovou přesností pod 1 metr, který byl získán z leteckého LiDARu. Následující hypotéza, že LiDAR by mohl být úspěšně nahrazen levnější technologií zjišťování výšek plodin, a to GPS snímačem umístěným na sklízecí mlátičce, nebyla prokázána a ukázala se jedinečnost LiDAR technologie v této oblasti plánování přesného zemědělství (McKinion a kol, 2010b).

2.11.3 Kvalita DEM ve vztahu k modelování erozních smyvů

Pro stanovení vodní eroze je topografie terénu klíčovým vstupem. Funkční vztah mezi kvantifikací erozního smyvu a terénem je zásadní pro možnost ovlivňování globálního toku sedimentů a naopak pro pochopení vztahů mezi tektonickou činností, klimatem a erozí v utváření zemského povrchu (Montgomery, 2003).

Rovnice USLE je celosvětově rozšířenou metodikou pro určování ztráty půdy plošnou a rýhovou erozí v měřítku jednotlivých zemědělských bloků. Přesnost určení topografického L faktoru (faktoru délky svahu) zásadně určuje přesnost stanovení erozního smyvu touto metodou. L faktor je přitom přímo závislý na prostorovém rozlišení DEM a volbě algoritmu zpracování (Liu a kol., 2011).

2.11.4 Kvalita DEM ve vztahu k hydrologickému modelování

V hydrologickém modelování je kvalita digitálního modelu reliéfu (DEM) zásadním požadavkem (Sarhadi a kol., 2012; Wu, 2007, 2008). Nepřesnosti v hydrologickém modelování jsou způsobeny mnoha faktory, jako jsou chybná vstupní data, přesnost kalibrace modelu, nepřesnosti v nastavení parametrů, struktura samotného modelu aj.

Efekt prostorového rozlišení DEM na nepřesnost výsledků srážkoodtokových hydrologických modelů je hodnocen v publikaci Lina (2010).

Užití topografických informací odvozených z LiDARu umožňuje vytváření relativně více přesných povodňových map (inundací). Proto vzniká poptávka lokální, státní i nadnárodní úrovní na získávání LiDARových dat pro přípravu přesných map inundačních oblastí (Cook, Merwade, 2009).

Charrier (2012) uvádí základní přístup k DEM ve vztahu k modelování rozlivů povodní. Při volbě rozlišení DEM je potřeba zohlednit náklady na jeho pořízení, náročnost na objem dat, výpočetní kapacity a časové hledisko. Žádný DEM není schopen přesně popsat zemský povrch. Kvalita DEM bude navíc v praxi vždy kompromisem a přichází na řadu schopnost vyhodnocování vzniklých nejistot a nepřesností. Při vymezení povodí se ukazuje, že LiDAR o menším rozlišení je vhodnější, neboť vysoké rozlišení a přesnost obsahuje mnoho zanedbatelných prostorových prvků, a proto může být hranice povodí určena v některých případech

chybně. V případě vymezení povodí může být z výše uvedených důvodů vhodné převést LiDAR DEM na nižší rozlišení.

Wu (2007) diskutuje vliv přesnosti výškových dat na simulaci povrchového odtoku v povodí pomocí modelu TOPMODEL založeném na topografii terénu. Klíčem je stanovit optimální rozlišení pro zvolené měřítko práce.

2.11.5 Mapování půdních vlastností s využitím DEM

Digitální mapování půd umožňuje určovat jejich vlastnosti vycházející z vybraného sledovaného půdního parametru a dalších vnějších údajů o půdotvorných faktorech, z nichž neopominutelný je faktor topografie terénu (Dobos a kol., 2006).

Digitální modely terénu hrají nezastupitelnou úlohu v oblasti digitálního mapování půdních vlastností (Debella-Gilo, 2009).

Drsnost půdy je jedním ze základních vstupních parametrů pro modelování pochodů v aplikované ekologii, jako je povrchový odtok vody, transport sedimentů a koloběh živin. Kromě toho je zásadním parametrem pro vyhodnocování dat z radarového snímání zemského povrchu pomocí SAR (Synthetic Aperture Radar), používaného v zemědělských aplikacích například pro určení půdní vlhkosti. Drsnost půdy se typicky určuje manuálně, měřením výškových profilů 1-3 m dlouhých přímo v terénu, což je pracovně i časově náročné. Zde je možné s úspěchem využít leteckého LiDARového snímání pro mapování drsnosti povrchu půdy pro velká území. Turner (2014) prezentuje srovnání přesnosti měření drsnosti půdy pozemním terénním měřením a leteckým LiDAREm. Kvantitativní ukazatelé (Root Mean Square - RMS, and Correlation Length – CL) ukazují ve prospěch LiDARu.

Jak sumarizuje Ziadat (2010) byl úspěšně nalezen statistický vztah mezi půdními vlastnostmi a vlastnostmi odvozenými z DEM.

2.11.6 Využití DEM v pozemkových úpravách a krajinném plánování

V tradičním pojetí se pozemkové úpravy zabývají zlepšením fragmentace půdní držby a zvětšením ploch pro efektivní hospodaření (Pašakarnis a kol., 2010).

Pozemkové úpravy jsou nástrojem rozvoje venkovského prostoru v širším kontextu, který zahrnuje zlepšení zemědělské výroby, tvorbu pracovních míst

na venkově, modernizaci infrastruktury, občanské vybavenosti, bydlení a ochranou přírodních zdrojů (Pašakarnis, a kol., 2010). Zhang a kol. (2012) navíc akcentuje i zachování a zlepšování biodiversity.

Nicméně v tomto oboru stále existuje poměrně velký rozpor mezi teoretickou vizí přínosu a skutečnou realizací. Přes všechno, čeho se v pozemkových úpravách celosvětově dosáhlo, je tento obor plný problémů: délka trvání, vysoké náklady, neustálá hrozba konfliktů mezi všemi zúčastněnými stranami. Demetriou (2012) či Martínez (2013) akcentují potřebu vývoje lepších softwarových prostředků, které by pomáhaly projektantům a které by přinesly úsporu času a nákladů. Využití GIS technik a digitálního modelu terénu jdou s těmito požadavky ruku v ruce.

V podmínkách České republiky je tento přínos komplexní pozemkové úpravy zajišťován vypracováním tzv. plánu společných zařízení, který obsahuje: (1) opatření ke zpřístupnění pozemků, (2) protierozní opatření, (3) vodohospodářská opatření a (4) opatření ke zlepšení životního prostředí (Váchal a kol., 2013). Přitom výškopisný model území se uplatňuje především při návrhu opatření v kategoriích 1-3:

Pro návrh cestní sítě je potřeba v potřebném rozsahu vypracovat příčné a podélné profily technického řešení navrhovaných staveb (Vochozka a kol., 2015). Dále je potřeba zhodnotit vliv navržené cestní sítě na odtokové poměry a erozní procesy v širších územních souvislostech.

Při hodnocení erozního ohrožení, návrhu a ověřování účinnosti protierozních opatření je stále více prosazován postup provádění potřebných výpočtů pomocí geografických informačních systémů (GIS) pracujících s DEM např. Liu a kol. (2011) nebo Montgomery (2003).

Neodmyslitelnou součástí vodohospodářských opatření jsou analýzy odtokových poměrů, identifikace linií soustředěného odtoku včetně tzv. „kritických bodů“ ohrožení intravilánu odtoky z přívalových srážek, vymezení mikropovodí k daným uzávěrovým profilům či dimenzování různých druhů technických opatření pomocí srážkoodtokových modelů (např. metody CN křivek). Všechny tyto analýzy jsou úzce spjaty s využíváním geografických informačních systémů a DEM (Mayer, Zemek, 2015).

Opomíjet nelze ani přínos DEM pro 2D a 3D vizualizaci řešeného území při krajinném plánování, jak zmiňuje Mitášová a kol. (2011), což může projektantovi

pozemkové úpravy významně pomoci jednak při samotných návrhových pracích, ale také při názorné prezentaci projektu během procesu schvalování a jednání s vlastníky pozemků, tzv. sborem zástupců, zastupitelstvem obce či správními orgány.

Jak bylo ukázáno v předcházejícím textu, DEM je používán pro důležité analýzy a rozhodování v klíčových oblastech projekce KoPÚ. Proto je nutné zajistit, aby bylo jeho využívání v co možná nejvyšší kvalitě.

2.12 Rastrový přístup tvorby DEM

Principiálně se jedná o interpolaci rastrového DEM jako spojitého povrchu požadovaného prostorového rozlišení ze zdrojových výškopisných dat a následné práce s tímto způsobem získaným rastrovým DEM.

V oblasti pozemkových úprav typicky používáme model rostlého povrchu terénu – reliéfu, který je někdy označován jako DMR.

Digitální model reliéfu terénu vzniká interpolací diskrétních výškopisných dat ve spojitý povrch. Jeho přesnost je dána především kvalitou vstupních dat, zvolenou metodou interpolace a výsledným prostorovým rozlišením (Chen, Yue, 2010; Wilson, 2012). Je potřeba uvažovat o všeobecném principu, že při interpolaci se snižuje absolutní výšková přesnost vstupních dat, ztrácí se mikroreliéf ve prospěch zachycení tzv. globálního trendu přirozeného průběhu terénu.

Zásadním rozhodnutím je vždy volba požadovaného prostorového rozlišení rastru při daném měřítku práce (zachování přesnosti versus objem dat a nároky výpočtů na hardware a počítačový čas) (Vaze, 2010; Sorensen, 2007). Dále běžně hovoříme o tzv. “hydro-ready” DMR, tedy modelu reliéfu terénu, který má kromě statistické přesnosti i další požadované vlastnosti vhodné pro vodohospodářské analýzy.

2.13 Shrnutí stávajícího poznání

Letecké laserové skenování je relativně mladá technologie sběru výškových geodat a je předmětem výzkumu v různých oblastech aplikované ekologie (hodnocení erozních smyčů, hydrologické aplikace), ale také v oblastech lesnictví a zemědělství.

Digitální terénní modely hrají základní úlohu při modelování atmosférických, geomorfologických, hydrologických a ekologických procesů na povrchu Země

či blízko něj i pro rozhodovací modely prací při přírodních katastrofách. Topografie hraje klíčovou úlohu v hydrologickém modelování, především ve srážkoodtokových modelech v prostředí geografických informačních systémů. Jakákoli nepřesnost ve výškopisných datech či v kvalitě DEM se projeví ve výsledcích navazujících modelů.

V současné praxi se v projektování pozemkových úprav využívá výškopis převzatý z topografických map (vektorové vrstevnice databáze ZABAGED), vybrané části území jsou pak výškově zaměřeny klasickou geodetickou metodou – digitální tachymetrií. Jedním z hlavních nedostatků současných digitálních modelů reliéfu vycházejících z výškových dat ZABAGED je jejich nedostatečná přesnost a vysoká míra generalizace, která neumožňuje s požadovanou přesností interpretovat objekty mikroreliéfu. Pozemní geodetické měření je nejpřesnější metodou získávání výškopisných dat, současně je časově i finančně krajně náročné, a proto se v rámci pozemkových úprav provádí v omezené míře pouze na vybraných částech území.

3 Metody a materiál

3.1 Cíle práce

Cílem této práce je ověření přesnosti a kvality generovaných DEM v prostředí ArcGIS map a aplikace *Analýza výškopisu*, která je volně přístupná na internetových stránkách ČÚZK s vlastním geodetickým zaměřením části cyklostezky Purkarec-Hluboká nad Vltavou. Vstupními daty pro komparaci jsou digitální model povrchu 1 generace, digitální model reliéfu 4 a 5 generace a vrstevnice ZABAGED.

Dalším cílem práce je porovnání vytvořených výsledků, díky stejné metodice, s jednotlivými technickými zprávami vydaných ČÚZK.

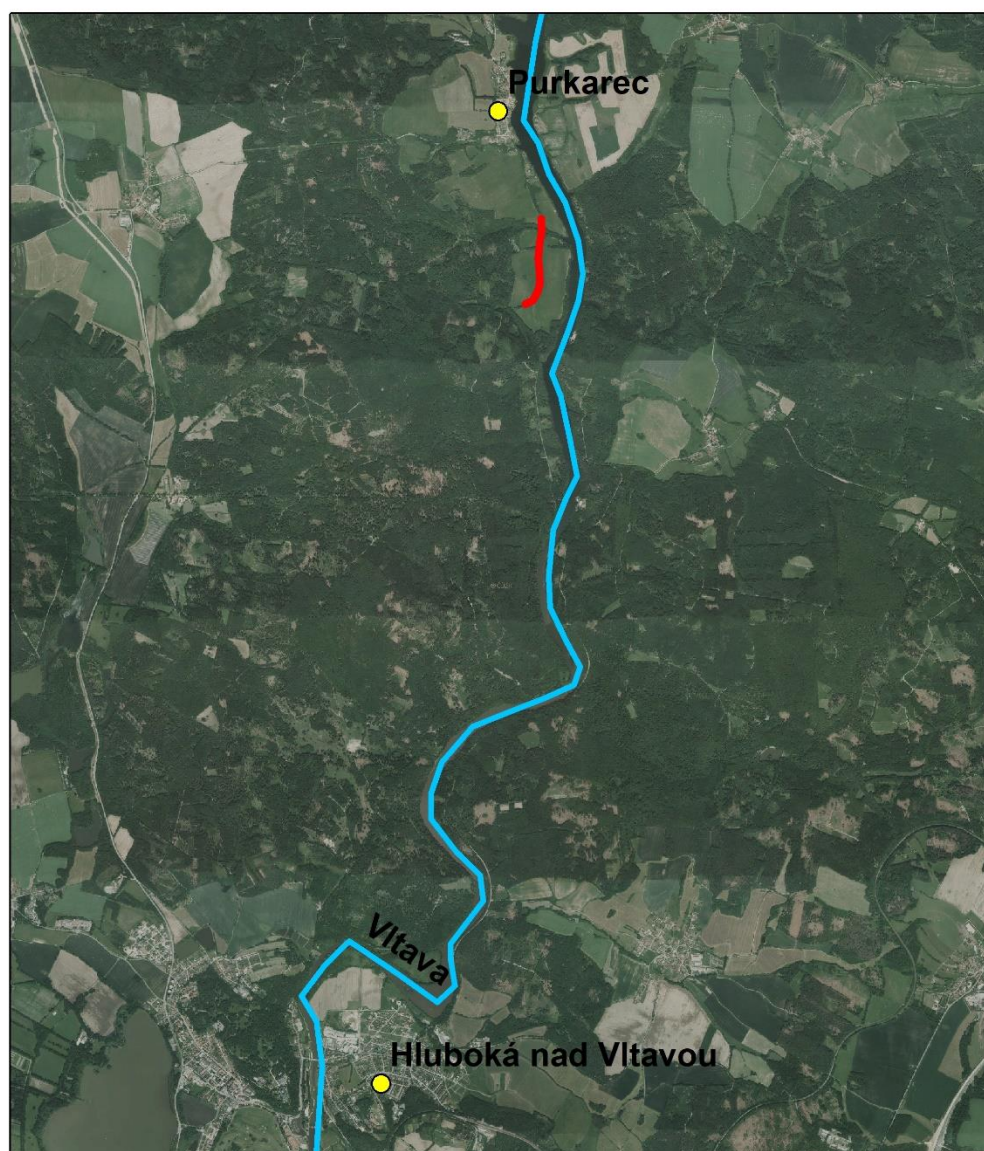
3.2 Zkoumané území

Výškopisné zaměření podélného profilu bylo provedeno na cyklostezce nacházející se mezi sídly Purkarec a Hluboká nad Vltavou (viz mapa č.1). Obě sídla leží v Jihočeském kraji v okrese České Budějovice. Délka trasy činí 787,5 metrů. Stoupání tohoto úseku je 5,13 metrů a celkové klesání činí 40,01 metrů. Na západní

straně cyklostezky se nachází hrana svahu. Nejvyšší nadmořská výška řešeného území činí 424,26 m n. m., nejnižší pak 379,58 m n. m.

Naučná cyklostezka má asfaltový povrch, který byl položen v roce 2010, a proto je možné toto území důvěryhodně komparovat s digitálním modelem reliéfu 4 a 5 generace. Podle dat z ČUZK byl DMR 5G vytvořen pro celou Českou republiku v letech 2009-2013 a dokončen k 30. 6. 2016.

Cyklostezka Hluboká nad Vltavou-Purkarec k roku 2021



Sledované území

-  pozemní zaměření cyklostezky
-  Vltava
-  sídla

0 1 2 km
1:45 000



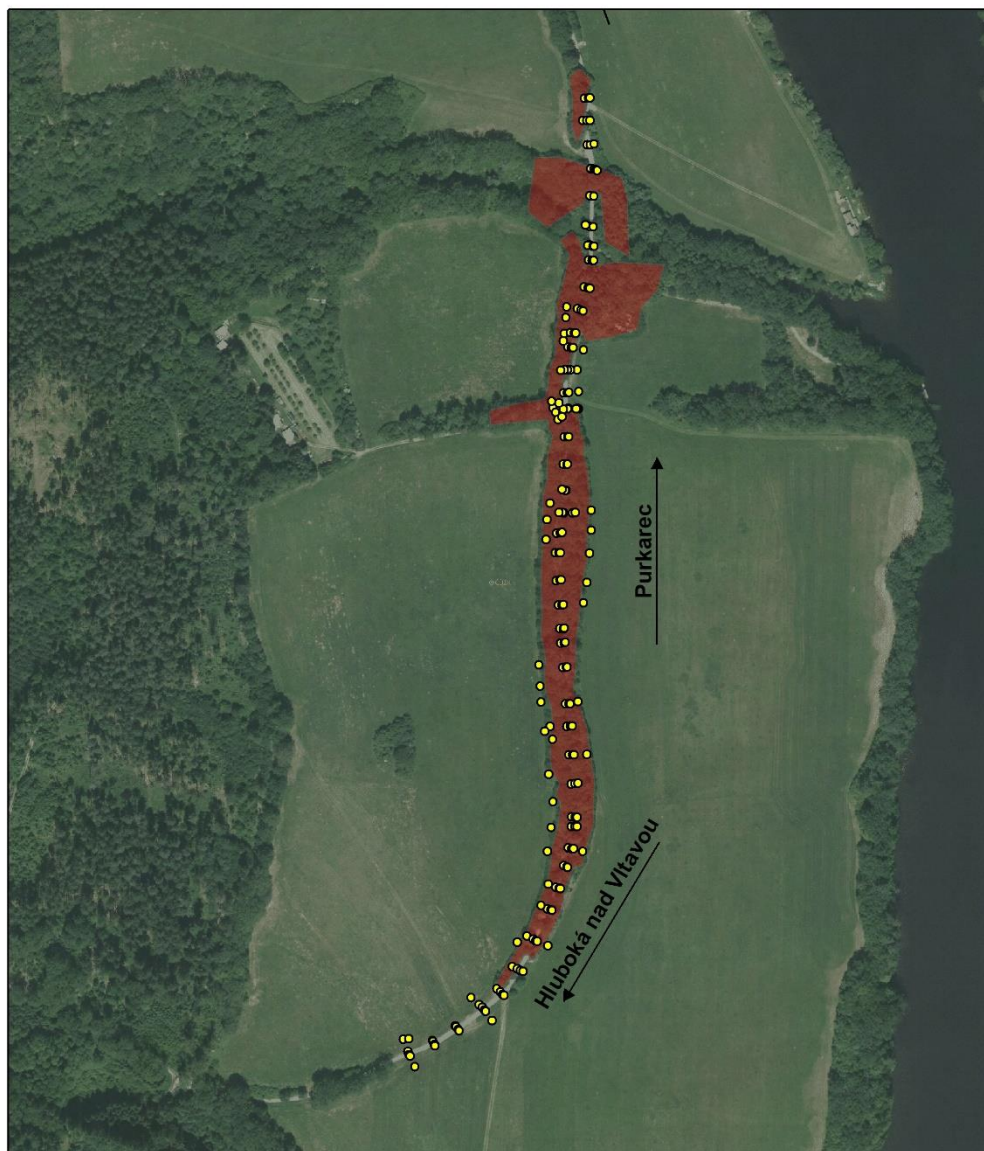
Filip Nyiri; Štěpánovice 17.04.2021; S-JTSK

mapa č. 1- Přehledná mapa zkoumaného území

(ČÚZK- vlastní zpracování)

Důležitým faktorem, který ovlivňuje přesnost výškových geodat, je porost. V mapě č. 2 jsou znázorněny oblasti se zákrytem porostů. Celkem 70% území se nachází v zákrytu stromů či keřů.

Znázornění porostů na cyklostezce k roku 2021



Legenda

- zákryt porostem
- podrobné body
- směrovky



Filip Nyiri; Štěpánovice 17.04.2021; S-JTSK

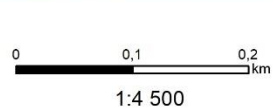
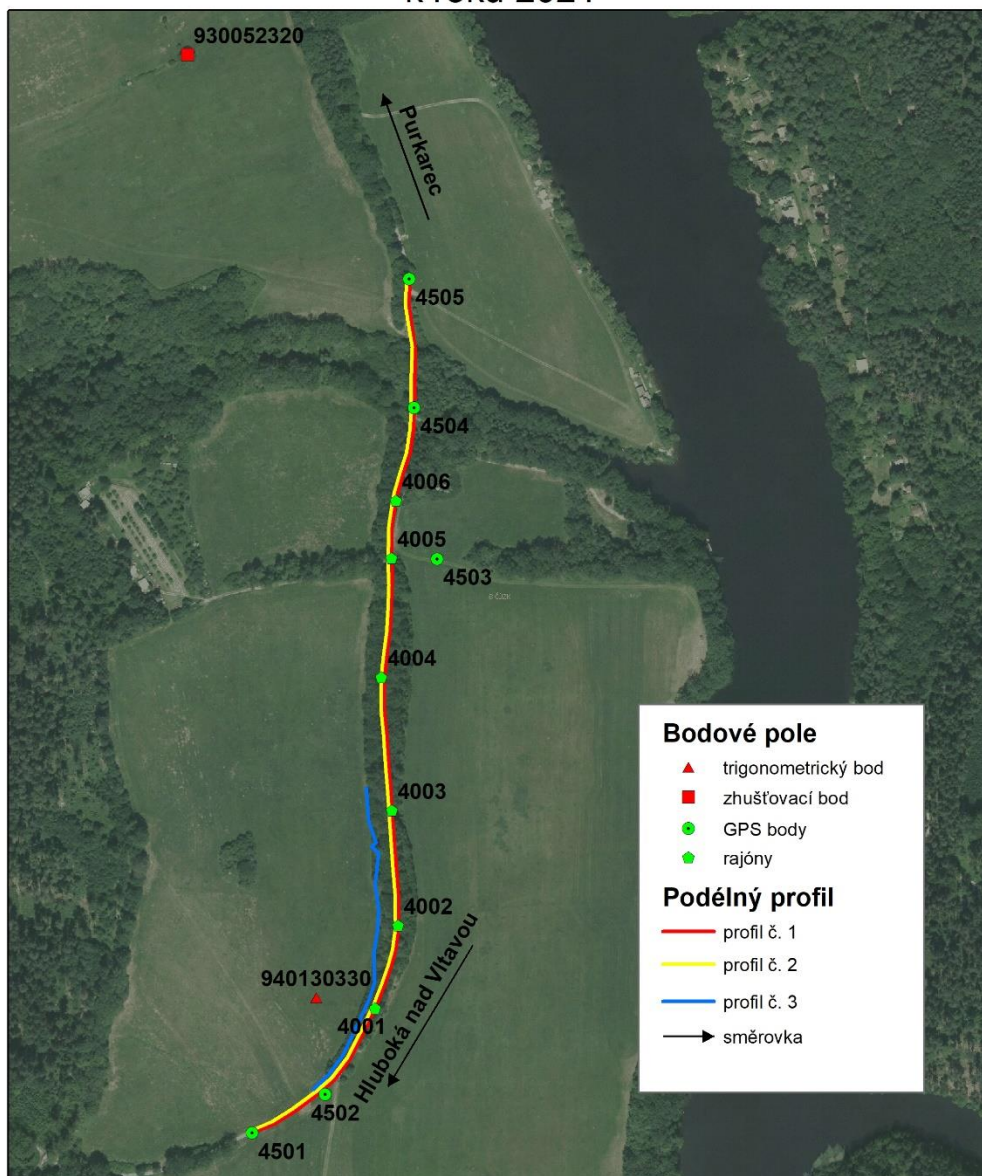
mapa č. 2- Znázornění porostů.

(vlastní zpracování)

3.3 Geodetické práce

Cyklostezka je měřená od jihu (směrem od Hluboké nad Vltavou) k severu (do Purkarce). První podélný profil je vytvořen na východním kraji asfaltu cyklostezky, druhý podélný profil se nachází na západním kraji asfaltu cyklostezky a třetí podélný profil znázorňuje hranu svahu západním směrem od cyklostezky. Všechny tyto profily spolu s trigonometrickým (č. 940130330) a zhušťovacím (č. 930052320) bodem jsou znázorněny v mapě č. 3. Zároveň jsou v této mapě zobrazeny GPS body a vypočítané rajóny, které byly použity při geodetickém zaměření veškerých podrobných bodů zkoumaného území.

Bodové pole, podélné profily na cyklostezce u Purkarce k roku 2021



Filip Nyiri; Štěpánovice 17.04.2021; S-JTSK

mapa č. 3- Přehledná situace bodového pole a podélných profilů

(vlastní zpracování)

3.3.1 Metody zpracování vlastního měření a použité softwary

Pro analýzu a následnou komparaci geodat byly použity následující programy: Groma 12, Microstation SE, Text Pad, ArcGIS map 10.4.1., ArcGIS scene, Microsoft Office Access, Excel a Word.

Pozemní měření bylo provedeno v blízkosti obce Purkarec (viz mapa č. 1). Pro měření podrobných bodů bylo nutné vytvořit vlastní bodové pole pomocí přístroje GNSS Trimble R4-2 s výrobním číslem 5145476243. Zvolený interval pro měření jedné záměry byl 10 vteřin. Pro dodržení požadované přesnosti GPS bodů bylo zapotřebí provést další observační měření. Z toho vyplývá, že jeden GPS bod byl zaměřen celkem dvakrát a z těchto údajů byl vytvořen aritmetický průměr, který byl použit v následujících výpočtech. Bohužel GNSS Trimble R4-2 neumí počítat s váženým průměrem. Do váženého průměru by byla zohledněna 3D kvalita měřených bodů mezi prvním a druhým zaměřením podle hodnoty RMS (korekce), avšak pro naše potřeby jsou tyto nepřesnosti zanedbatelné.



Obrázek č. 1- Trimble R 4-2

(<https://www.alibaba.com/>)

Pro následné měření podrobných bodů byla použita totální stanice Trimble S8 HP s výrobním číslem 98010230 a s kalibračním listem 46379/2020, který byl vystaven ve VÚGTK. Pro měření byly použity odrazné hranoly Trimble s průměrem 62 mm se sklopným držákem 15x23 cm a s konstantou $k = -30\text{mm}$.



Obrázek č. 2- Trimble S8 HD ([http//Trimble S8 \(Page 1\) - Line.17QQ.com](http://Trimble S8 (Page 1) - Line.17QQ.com))



Obrázek č. 3- Odrazný hranol Tromble, $k=-30\text{mm}$ (<https://geoshop.cz/>)

U totální stanice byla vždy naměřena výška přístroje a zároveň byla pečlivě přeměřena výška odrazného hranolu. Číslování bodů bylo použito pro GPS 4501 až 4505, pro rajóny 4001 až 4006 a pro podrobné body 1 až 185. V zalesněných místech se počítal polygon (viz. mapa č. 2 a 3).

Zaměřovaný byl vždy kraj asfaltu a blízké nerovnosti jako jsou hrany svahů, paty svahů, příkopů popřípadě propustky a také dimenze.

Pro zpracování a vypočítání naměřených dat byly použity programy Microstation SE a Groma 12. Po stažení měření z totální stanice bylo nutné soubor otevřít v programu Groma 12. Nejprve byl opraven zápisník (polární data) do požadované struktury tak, aby byla ucelena. Posléze byl vytvořen nový seznam polárních dat a do něj zkopírován polygonový pořad. Díky tomu mohly být vypočteny přesné souřadnice XYZ stanovisek.

Polární data polygonového pořadu byla pomocí funkce *Zpracování zápisníku* opravena a následně vypočítána prostřednictvím funkce *Výpočet polygonového pořadu*. Tímto vznikly souřadnice XYZ stanovisek, které byly uloženy do stejného zápisníku jako GPS body. Poté bylo vše připraveno pro výpočet podrobných bodů.

Polární data podrobných bodů byla nejprve opravena. Následně byla použita funkce *Polární metoda dávkou*. Vznikl nový seznam souřadnic XYZ, do kterého byly vypočteny všechny podrobné body. Z důvodu velkého množství měřených dat jsou v přílohách uvedeny pouze ukázky protokolů.

3.3.2 Příprava dat pro práci v prostředí ArcGIS map 10.4.1.

Jelikož bylo měření provedeno v zarostlém terénu, bylo nutné vytvořit polygon pomocí rajónů číslo 4001 až 4006. Pro přesné určení polohy rajónů jsem zmíněný polygon musel nejprve vyrovnat v prostředí programu Groma 12 tak, abych získal přesnou polohu stanovisek. Po veškerých výpočtech v programu Groma 12 byl vytvořen nový dgn soubor, který byl následně otevřen v programu Microstation SE. Pomocí příkazu *mdl load groma* se program Microstation SE spojil s programem Groma 12. Poté bylo možné vložit podrobné body do prostředí programu Microstation SE a vyexportovat je do formátu dbf.

Podrobné body lze vyexportovat z Trimble S8 HD rovnou do prostředí ArcGIS map, ale naměřená data se zobrazují ve špatném kvadrantu, čímž je kvalita souřadnic nevyhovující. Dalším důvodem, proč nebyla data vyexportována z totální stanice, je polohové a výškové nevyrovnání polygonu. Trimble S8 HD neumí vyrovnat polygon, proto byly využity programy Groma 12 a Microstation SE, které umožňují rychlý převod mezi formáty.

Pro práci s ArcGIS map 10.4.1. byly veškeré popisky, body a linie vyexportovány do souboru dbf. Zároveň byl uložen textový soubor se souřadnicemi XYZ pro případnou potřebu napojení externích dat do atributové tabulky v ArcGIS map 10.4.1.

Textový soubor souřadnic XYZ byl převeden do formátu xls a otevřen v Microsoft Office Access. Po několika úkonech byla vyexportována tabulka do formátu dbf., avšak pro správné připojení tabulky s výškami je důležité zachovat správné formátování již v Excelu.

3.4 Statistický postup porovnávání geodat

Kvalita DEM (DMR) byla hodnocena ve dvou krocích: vizuálně a statisticky. Pro vizuální hodnocení kvality DMR byl použit software ArcGIS scene, který umožňuje prostorový pohled na DMR s možností různých textur a úhlů nasvícení. Zobrazení v programu ArcGIS scene ukázalo, že se v DMR nevyskytují nežádoucí hrubé a systematické chyby, dále byla vizuálně hodnocena přirozenost podání sklonu svahů a další morfometrické parametry. Subjektivní hodnocení kvality DMR ukázalo, že interpolační metoda byla kalibrována nejlepším možným způsobem. Statistickou přesnost digitálních modelů terénu lze hodnotit dvěma způsoby, a to relativně vůči sobě či absolutně.

Relativní přesnost lze zjistit odečtením rastrů DMR od sebe, kdy vznikne rastr odchylek (Mukherjee, 2013).

Absolutní výšková přesnost jednotlivých DMR oproti referenčním geodetickým výškám lze zjistit následujícím postupem (Brázdil, 2010; Podhorányi a kol., 2010):

Výpočet hodnotících kritérií:

-Výškový rozdíl:

$$\Delta H = H_p - H_{geo}$$

kde je:

ΔH ... výškový rozdíl, výšková chyba [m],

H_p ... hodnota výšky hodnoceného DMR v daném bodě (pixelu) [m]

H_{geo} ... výška bodu změřená geodeticky [m]

-Systematická chyba:

$$CH = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta H_i}{n}$$

kde je:

CH ... systematická chyba, průměrná chyba [m]

ΔH_i ... výškový rozdíl (chyba) v daném bodě (v daném pixelu) [m]

n počet hodnocených bodů (počet pixelů v rastru) [-]

-Průměrná absolutní velikost chyby (MAV):

$$MAV = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta H_i|}{n}$$

kde je:

MAV průměrná absolutní velikost chyby [m],

ΔH_i výškový rozdíl (chyba) v daném bodě (v daném pixelu) [m]

n počet hodnocených bodů (počet pixelů v rastru) [-]

- Úplná střední chyba výšky (střední kvadratická chyba – RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta H_i^2}{n}}$$

kde je:

RMSE ... střední kvadratická chyba (RMSE) [m] "

ΔH_i výškový rozdíl (chyba) v daném bodě (v daném pixelu) [m]

n počet hodnocených bodů (počet pixelů v rastru) [-]

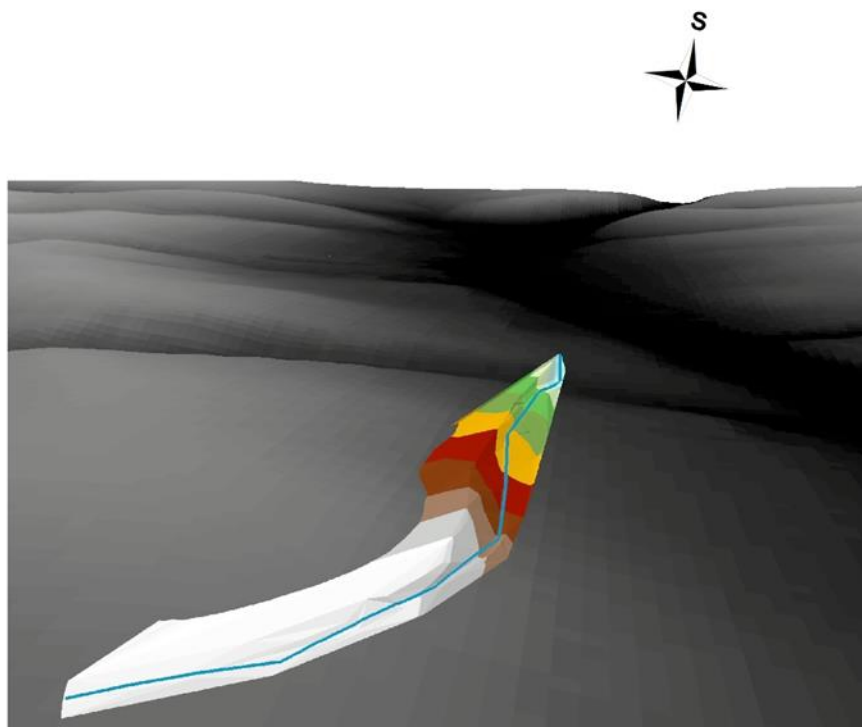
Úplná střední chyba výšky nebo-li RMSE (root mean square error) je statistická metoda, která se využívá k zevrubnému srovnávání úspěšnosti kvality jednotlivých interpolačních technik. Tato metoda vypočítá rozptyl četností odchylek mezi daty z vlastního geodetického zaměření, DMP 1G, DMR 4G, 5G a vrstevnic ZABAGED.

4 Výsledky a diskuse










K vyhodnocení jednotlivých zdrojů výškopisu byl použit software ArcGIS map 10.4.1. s nadstavbou Spatial Analyst 3D Analyst. Datovým zdrojem pro vytvoření rastru s přesnými výškami je textový soubor XYZ, který vznikl vlastním geodetickým zaměřením. DMR 4G byl poskytnut Ústavem výzkumu globální změny AV ČR ve formátu rastru nikoliv v textové podobě. Vrstevnice ZABAGED byly zdigitalizovány a následně převedeny do rastrové podoby.

Vzhledem k nepřesnému výpočtu rastru v programu ArcGIS map z vlastního měření budou vyhodnoceny pouze konkrétní zaměřené podrobné body. Veškeré vytvořené rastry poskytnou dostatečné grafické znázornění ve formě 3D vizualizace, vytvořené v ArcGIS scene a poslouží k případnému odstranění hrubých chyb.

3D vizualizace cyklostezky u Purkarce k roku 2021

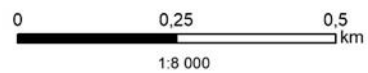


Výšky 3D modelu

	420,11 - 415,587
	415,587 - 411,063
	411,063 - 406,54
	406,54 - 402,017
	402,017 - 397,493
	397,493 - 392,97
	392,97 - 388,447
	388,447 - 383,923
	383,923 - 379,4

liniové prvky

 cyklostezka



Filip Nyiri; Štěpánovice 17.04.2021; S-JTSK

mapa č. 4- 3D vizualizace geodeticky zaměřené cyklostezky. V pozadí DMR 4G.
(vlastní zpracování)

4.1 Postup při zpracování dat v programu ArcGIS

Abychom dosáhli co nejpřesnějších výsledků v hodnocení DMR 4G, vrstevnic ZABAGED a vlastního měření, bylo nutné si jednotlivá data pečlivě připravit.

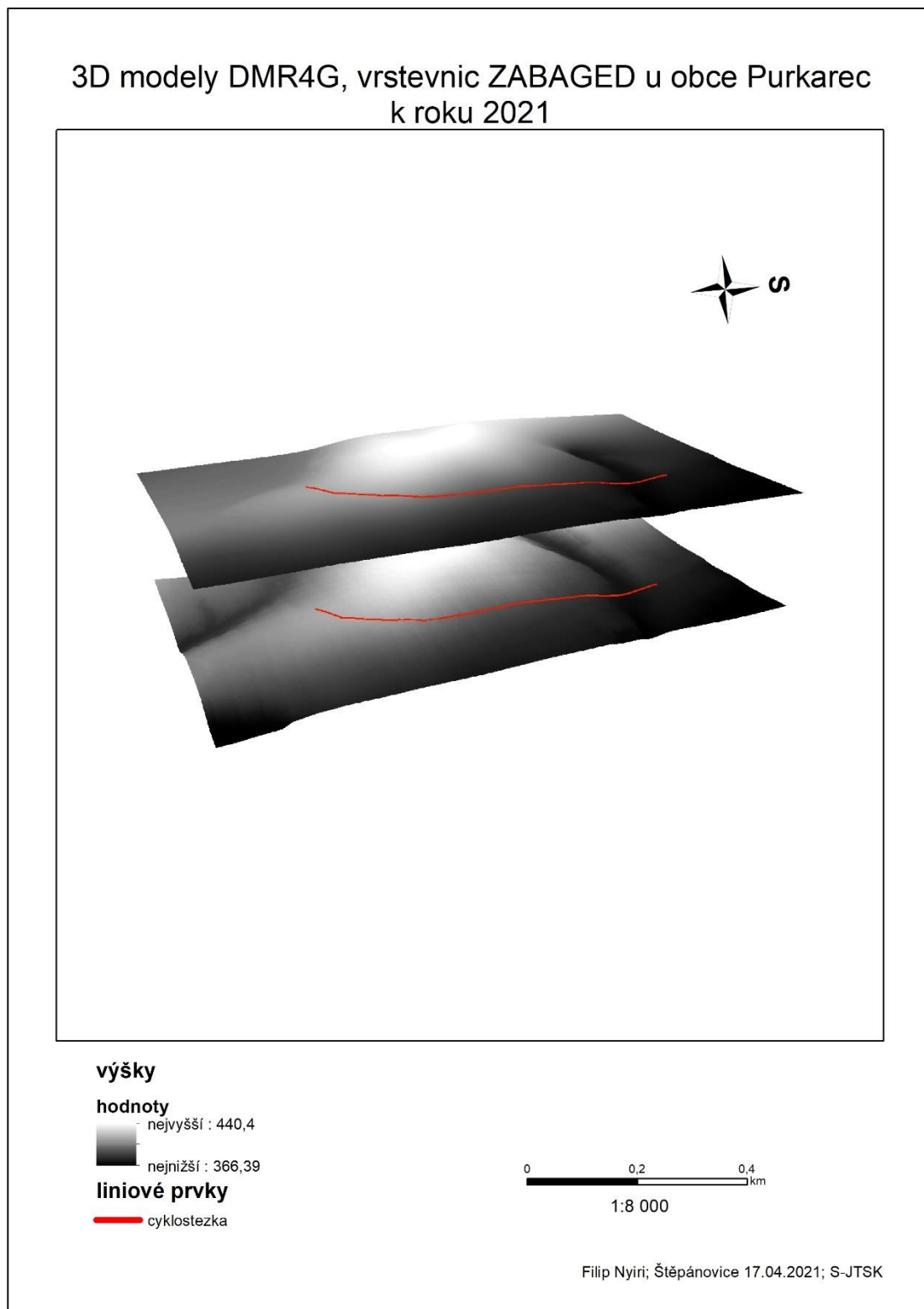
Při zpracování vrstevnic ZABAGED bylo zapotřebí nejprve připojit WMS službu s vrstevnicemi nacházející se na stránkách ČÚZK. Následovalo digitalizování vrstevnic, kdy ke každému vytvořenému atributu byla přiřazena výška (Chen, 2010). Vrstevnice byly vektorizovány po 2 výškových metrech. Vzhledem k širokému rozpětí vektorů lze očekávat větší nepřesnosti v celkových výsledcích. Jak zmiňuje WU (2008) ve své publikaci, jakákoli nepřesnost se projeví ve výsledných modelech. Po přesné digitalizaci vznikla vektorová data, která lze převést na rastr pomocí funkce *Topo to Raster*, kterou zmiňuje ve své publikaci Chen (2010). Vstupními daty je shapefile s vrstevnicemi. Do kolonky Field byla vložena výška linií a typ byl zachován na Contour (obrys). Z důvodu širokého rozpětí výšek byla zadána velikost pixelu na 0,1 m. V tomto případě by mohla vzniknout i celkem přesná data. Zpracování tohoto rastru počítačem trvalo přibližně 20 minut. Je tak podrobný, že nebylo nutné ho vyhlazovat. Podle Vazeho (2010) ve většině případů postačí rastr s nižším rozlišením. Záleží na tom, k jakému účelu ho použijeme.

Vzhledem ke skutečnosti, že Ústav globální změny AV ČR poskytl již hotový DMR 4G, bylo nutné jej pouze oříznout pomocí funkce *Extract by mask* do stejné velikosti jako je rastr s vrstevnicemi.

Dosavadní postup přípravy dat z vlastního zaměření do prostředí ArcGIS map je popsán v kapitole č. 3.3. Pro zpracování vlastního zaměření podrobných bodů bylo nutné v programu ArcGIS map nejprve zkontrolovat obsah atributové tabulky podrobných bodů tak, aby obsahovaly souřadnice XYZ. Vytvořený shapefile podrobných bodů bylo nezbytné převést do rastrové podoby pomocí funkce *Topo to Raster*, kde ve sloupci Field byla vložena hodnota Z, tedy výška bodů, a v kolonce typ byl odkliknut Point Elevation (nadmořská výška). Výstupní velikost jednoho pixelu byla ponechána na hodnotě 0,6 m. Podle Vazeho (2010) menší velikost pixelu se nedoporučuje z důvodu objemného množství dat. Zároveň DMR 4G má velikost pixelu 5m a bylo by zbytečné vytvářet menší pixely. Výsledky diplomové práce

to neovlivní. Rastr byl následně upraven pomocí funkce *Fill*. Tímto vznikl vyhlazený rastr, který slouží zejména pro grafické znázornění.

3D modely DMR 4G a vrstevnic ZABAGED zobrazuje mapa č. 5. 3D model geodetického zaměření nalezneme výše v textu v mapě č. 4.



mapa č. 5- 3D modely DMR 4G (dole) a vrstevnic ZABAGED (nahore).

(vlastní zpracování)

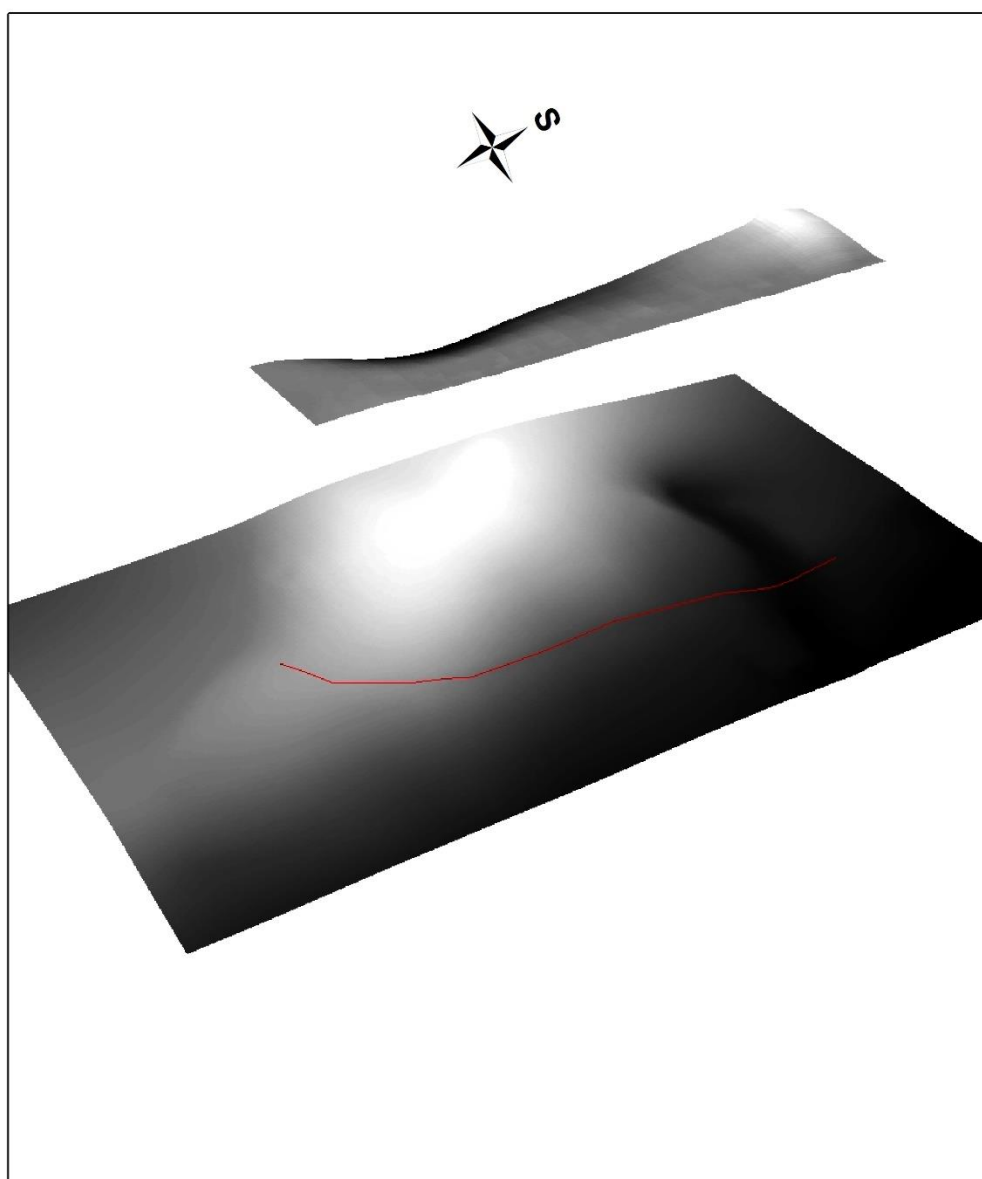
Při vizuální kontrole všech rastrů nebyly objeveny žádné hrubé chyby. Pro přesné výpočty nelze použít rastr s geodetickým zaměřením, protože obsahuje pixely, v nichž jsou přítomny špatné informace viz mapa č. 6.. To by znamenalo celkové zkreslení hodnocení. Aby k tomu nedošlo, byla použita funkce *Extract Values To Table*. Vstupními daty je shapefile geodeticky zaměřených bodů. Dále bylo potřeba doplnit vstupní rastry. V tomto případě jsou jimi DMR 4G a rastr s vrstevnicemi ZABAGED. Tato funkce přenesla výšky překrývajících se pixelů se vstupním shapefilem do atributové tabulky podrobných bodů. Tím vzniknou 3 soubory různých výšek pro jeden konkrétní bod. Následně pomocí funkce *Field Calculator*, jež se nachází v atributové tabulce, vypočítáme tížené rozdíly výšek (viz příloha č. 1), ze kterých vypočítáme podle Brázdila (2010) systematickou chybu, průměrnou absolutní velikost chyby a úplnou střední chybu výšky.

4.2 Vyhodnocení kvality DMR 4G a vrstevnic ZABAGED

Hodnocení kvality výškových DMR bylo provedeno zejména v prostředí atributové tabulky s použitím funkce *Field Calculator*. Při vytváření rastrového podkladu z vlastního měření bylo zjištěno, že převod liniových staveb (pokud nejsou napřimené) do rastrové podoby je problémový. Vzhledem ke skutečnosti, že cyklostezka má několik zatáček (viz mapa č. 3), vznikaly při převodu do rastrové podoby v těchto místech pixely se špatnou informací a při odečtu rastrů od sebe se vytvářely velice hrubé chyby (viz mapa č. 6). Proto nepřipadalo v úvahu jednotlivé rastry od sebe odčítat pomocí matematických funkcí, ale pro získání důvěryhodných informací bylo nutné zvolit následující postup. Z daných rastrů je odebrána pouze informace o výšce, která se překrývala s geodeticky zaměřenými body.

Na mapě č. 6 můžeme vidět velké deformace převedeného geodetického zaměření bodů na rastr. Pro přesné určení výšek v každém pixelu se doporučuje měřit území ve čtvercovém anebo obdélníkovém tvaru. Pokud je území zaměřené v linii jako v tomto případě, musíme vyselektovat deformace způsobené převodem. Deformace se nacházejí zejména na celém území směrem na západ od hrany svahu cyklostezky. Čím dále se vzdalujeme od cyklostezky, tím jsou data méně přesná.

Podrobné body převedené na rastr k roku 2021



Liniové prvky

— profil č. 1

0 0,125 0,25 km

1:5 000

Filip Nyiri; Štěpánovice 17.04.2021; S-JTSK

mapa č. 6- Rastr podrobných bodů (nahore), DMR 4G (dole). (vlastní zpracování)

Výsledky výpočtu předem daných ukazatelů nalezneme v tabulce č. 1. Důležitým ukazatelem, který hodnotíme je úplná střední chyba výšky nebo-li RMSE. Hodnoceno bylo celkem 184 bodů (pixelů). RMSE bylo vytvořeno pro body nacházející

se v otevřeném terénu, v zákrytu vegetace a zároveň pro všechny body bez ohledu na jejich polohu. Výsledky jsou porovnány s jednotlivými technickými zprávami.

Tabulka č. 1- Hodnotící kritéria.

odkrytý terén		
hodnotící kritéria	4G	vrstevnice
CH	-0,21	-0,15
MAV	0,31	0,37
RMSE	0,40	0,51
zakrytý terén		
hodnotící kritéria	4G	vrstevnice
CH	-0,14	-0,39
MAV	0,42	0,47
RMSE	0,57	0,63
celková data		
hodnotící kritéria	4G	vrstevnice
CH	-0,17	-0,28
MAV	0,37	0,42
RMSE	0,50	0,58

(vlatní zpracování)

Technická zpráva DMR 4G deklaruje v otevřeném terénu úplnou střední chybu do hodnoty 0,3 m. V tomto případě byla mez překročena o 0,1 m. To je zejména způsobeno vysokými hodnotami u bodů č. 1, 19, 21, 23, 28, 34, 35 a 71. U bodu 172 byla zjištěna odchylka z rozdílu výšek o 1,16 m. Podle Mukherjee (2013) je to pravděpodobně způsobeno vysokým travním porostem, který se zde nacházel v době laserového skenování. Další možností je podle Menga a kol. (2010) neproniknutí laserových paprsků hustou korunou stromů, popřípadě šapatnou filtrací bodů rostlého terénu.

Přestože komparace výškopisu probíhala v blízkosti hrany svahu, vygenerovaný DMR z vrstevnic ZABAGED se jeví jako přesný. Úplná střední chyba je v odkrytém terénu 0,51 m. U bodů č. 70, 71, 171, 177, 178, 179, 181 z celkových 184 bodů byly zjištěny v rozdílu výšky odchylky o více jak 1 m. V publikaci Baltsaviase (1999) uvádí, že v zakrytém terénu lze předpokládat horší kvalitu přesnosti výšek bodů. Deklarovaná úplná střední chyba, která činí 1 m, byla s hodnotou 0,57 splněna. U rastru s vrstevnicemi RMSE činí 0,63 m. Což plně splňuje podmínky z technické zprávy DMR 4G.

V celkovém měřítku RMSE pro DMR 4G činí 0,5 m a pro vrstevnice ZABAGED 0,58 m. Celkově v modelu DMR 4G byla překročena mez u 16 bodů více jak o 1 m. Z toho vyplývá, že 91 % podrobných bodů nepřekročilo rozdíl ve výšce více jak o 1 m.

U vrstevnic to bylo obdobné. Rozdíl ve výšce o více jak metr byl zaznamenán u 20 bodů. Celkem 89 % bodů má rozdíl ve výšce menší než 1 m.

4.3 Hodnocení aplikace Analýza výškopisu ČÚZK

Na základě pozemního měření přístrojem Trimble S8 HD byly zjištěny velice přesné XYZ souřadnice podrobných bodů číslo 1-184 viz mapa č. 7 a příloha č. 1.

Geodetické zaměření cyklostezky u obce Purkarec k roku 2021



Legenda

- podrobné body
- směrovka

0 0,1 0,2 km
1:4 000



Filip Nyiri; Štěpánovice 17.04.2021; S-JTSK

mapa č. 7- Zaměřené podrobné body

(vlastní zpracování)

Aplikaci *Analýza výškopisu* nalezneme na stránkách ČÚZK (<https://ags.cuzk.cz/av/>). Po otevření této webové stránky zvolíme možnost *Profil*. Pro velice přesnou komparaci jednotlivých digitálních modelů zvolíme možnost *Zadat souřadnice*. Po vložení souřadnic XY z pozemního měření do aplikace zjistíme

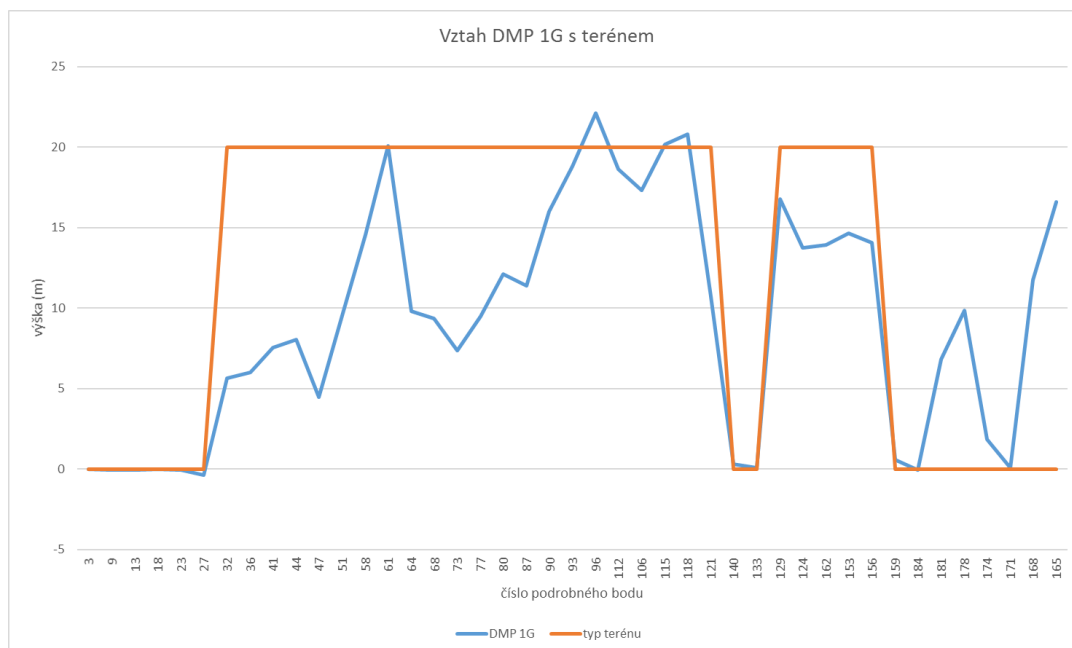
jednotlivé výšky 1, 4 a 5G modelů výškopisu pro konkrétní bod. Veškerá data byla zpracována v prostředí Microsoft Office-Excel.

Nejprve bylo nutné roztrždit podrobné body podle toho, zda se nachází v zákrytu porostů či nikoliv. Tímto způsobem vznikly dva druhy dat.

Statistický postup komparace získaných geodat z aplikace *Analýza výškopisu ČÚZK* je stejný jako při zpracování rastrových dat v kapitole č. 3.4. Pro důvěryhodné porovnání byly použity vzorce, které jsou uvedeny v technických zprávách pro DMP 1G, DMR 4G a 5G. Jednotlivé výpočty jsou rozděleny na data z odkrytého terénu, ze zakrytého terénu vegetací a pro celkový podélný profil. Jednotlivé vzorce a postup zpracování jsou uvedeny v kapitole č. 3.4. Vzhledem ke skutečnosti, že byly jednotlivé DMR zpřesňovány pomocí trigonometrických a zhušťovacích bodů, bude zajímavé tyto zmíněné body porovnat.

4.3.1 Podélný profil č. 1

Z tabulky č. 2 můžeme vyčíst, že nejvyšší nadmořská výška geodetického zaměření činí 419,6 m n. m. Nejnižší nadmořská výška profilu je 379,58 m n. m. V této tabulce nalezneme také rozdíly výšek, které byly vypočteny podle vzorce $\Delta H = H_p - H_{geo}$, uvedené v kapitole č. 3.4.



Graf č. 1- Porovnání DMP 1G s terénem- podélný profil č. 1
(ČÚZK, vlastní zpracování)

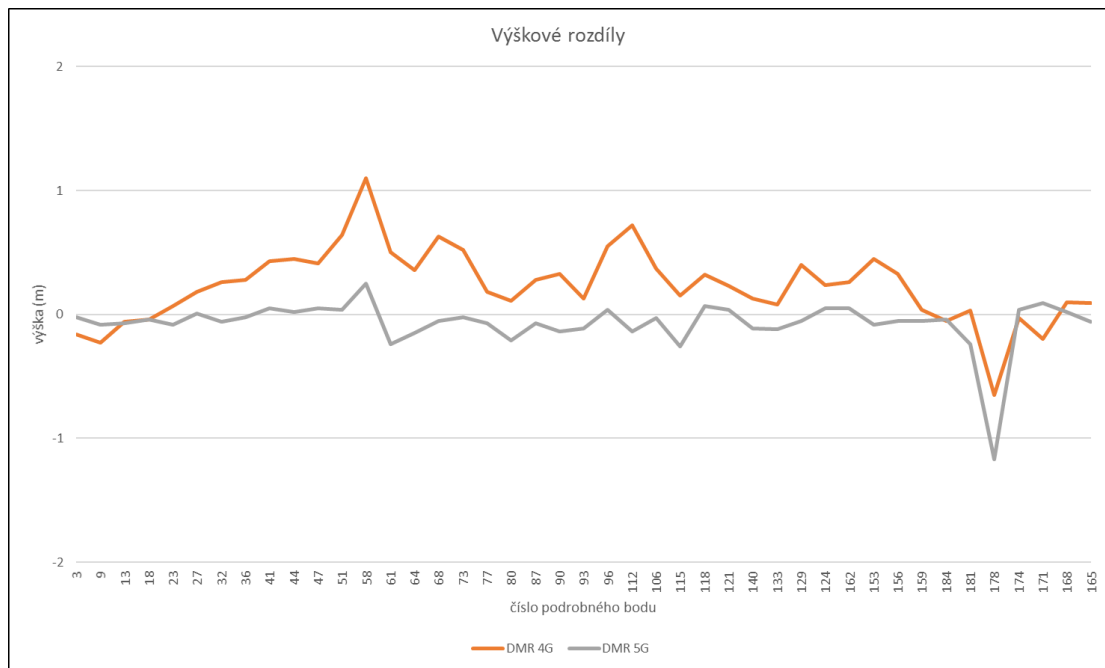
Při pohledu na graf č. 1 a tabulku č. 2 je patrné, že nejméně přesným modelem této aplikace je DMP 1G. Je to samozřejmě dané tím, že při leteckém snímkování DMP 1G laserové paprsky nedopadají až na kořen terénu, ale pouze na povrch koruny stromů, od kterých se laserové paprsky odrážejí zpět k přijímači. Tento vztah je popsán v publikaci Meng a kol. (2010) a zobrazen v grafu č. 1. Pro lepší grafické znázornění bylo přiřazeno k otevřenému terénu hodnota 0 m. a pro zakrytý terén 20 m. Mírné nepřesnosti ve vztahu popsáném v grafu č. 1 lze vysvětlit u bodů č. 165, 168, 174, 178 a 181, a to měnící se vegetací v čase. Podle Menga a kol. (2010) to může být způsobené špatnou filtrací bodů rostlého terénu.

Tabulka č. 2- Absolutní výšky a výškový rozdíl jednotlivých DMR.

podélný profil č. 1								
číslo bodu	absolutní výšky				otevřený terén= 0	výškový rozdíl		
	skut. zaměření	DMP 1G	DMR 4G	DMR 5G	zakrytý terén=20	DMP 1G	DMR 4G	DMR 5G
3	418,17	418,16	418,01	418,15	0	-0,01	-0,16	-0,02
9	419,26	419,19	419,03	419,18	0	-0,07	-0,23	-0,08
13	419,60	419,55	419,54	419,53	0	-0,05	-0,06	-0,07
18	419,10	419,06	419,06	419,06	0	-0,04	-0,04	-0,04
23	418,62	418,54	418,69	418,54	0	-0,08	0,07	-0,08
27	417,71	417,34	417,89	417,72	0	-0,37	0,18	0,01
32	416,70	422,33	416,96	416,64	20	5,63	0,26	-0,06
36	415,34	421,36	415,62	415,32	20	6,02	0,28	-0,02
41	414,01	421,56	414,44	414,06	20	7,55	0,43	0,05
44	412,47	420,51	412,92	412,49	20	8,04	0,45	0,02
47	411,15	415,63	411,56	411,20	20	4,48	0,41	0,05
51	409,16	418,68	409,80	409,20	20	9,52	0,64	0,04
58	408,38	422,92	409,48	408,63	20	14,54	1,10	0,25
61	405,79	425,87	406,29	405,55	20	20,08	0,50	-0,24
64	404,00	413,80	404,36	403,85	20	9,80	0,36	-0,15
68	402,62	411,99	403,25	402,57	20	9,37	0,63	-0,05
73	401,48	408,85	402,00	401,46	20	7,37	0,52	-0,02
77	400,17	409,67	400,35	400,10	20	9,50	0,18	-0,07
80	399,36	411,48	399,47	399,15	20	12,12	0,11	-0,21
87	398,91	410,29	399,19	398,84	20	11,38	0,28	-0,07
90	398,40	414,39	398,73	398,26	20	15,99	0,33	-0,14
93	397,81	416,63	397,94	397,70	20	18,82	0,13	-0,11
96	397,12	419,22	397,67	397,16	20	22,10	0,55	0,04
112	396,35	414,99	397,07	396,21	20	18,64	0,72	-0,14
106	395,39	412,71	395,76	395,36	20	17,32	0,37	-0,03
115	394,26	414,45	394,41	394,00	20	20,19	0,15	-0,26
118	393,23	414,04	393,55	393,30	20	20,81	0,32	0,07
121	392,19	402,90	392,42	392,23	20	10,71	0,23	0,04
140	391,44	391,73	391,57	391,33	0	0,29	0,13	-0,11
133	390,82	390,88	390,90	390,70	0	0,06	0,08	-0,12
129	389,60	406,36	390,00	389,55	20	16,76	0,40	-0,05
124	388,51	402,24	388,75	388,56	20	13,73	0,24	0,05
162	387,69	401,60	387,95	387,74	20	13,91	0,26	0,05
153	385,78	400,41	386,23	385,70	20	14,63	0,45	-0,08
156	383,39	397,44	383,72	383,34	20	14,05	0,33	-0,05
159	381,10	381,66	381,14	381,05	0	0,56	0,04	-0,05
184	380,49	380,42	380,44	380,45	0	-0,07	-0,05	-0,04
181	379,93	386,76	379,96	379,69	0	6,83	0,03	-0,24
178	379,58	389,43	378,93	378,41	0	9,85	-0,65	-1,17
174	379,78	381,62	379,75	379,82	0	1,84	-0,03	0,04
171	380,67	380,76	380,47	380,76	0	0,09	-0,20	0,09
168	382,30	394,07	382,40	382,32	0	11,77	0,10	0,02
165	383,33	399,94	383,42	383,27	0	16,61	0,09	-0,06

(ČÚZK, vlastní zpracování)

Vzhledem k nalezení vztahu mezi terénem a DMP 1G uvedeném v grafu č. 1 nebylo nutné tento digitální model terénu dále zkoumat. Z důvodu vysokých výškových rozdílů DMP 1G od skutečného zaměření by následující grafy byly nepřehledné.



Graf č. 2- Výškový rozdíl mezi skutečným zaměřením a DMR 4 a 5G.

(ČÚZK, vlastní zpracování)

Nyní přistoupíme k hodnocení DMR 4G a 5G u podélného profilu č. 1. Podle technických zpráv vydaným k jednotlivým DMR lze důvěryhodně porovnat kvalitu a přesnost získaných výšek bodů z aplikace ČÚZK se skutečným zaměřením.

V grafu č. 2 jsou zobrazeny výškové rozdíly od skutečného zaměření. Z prvního pohledu na zmíněný graf uvidíme určitou podobnost vývoje mezi DMR 4G a DMR 5G, kde byly vypočteny následující údaje.

Podle technické zprávy DMR 4G je úplná střední chyba (RMSE) 0,3m v odkrytém terénu a 1 m v terénu pokrytém vegetací. Podle vzorce $RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{l=1}^n \Delta H_l^2}{n}}$ z publikace od Brázdila (2010) je ověřena kvalita DMR 4G. Tabulka č. 3 ukazuje úplnou střední chybu v odkrytém terénu 0,2m a také v terénu pokrytém vegetací 0,44 m. Tím byla splněna deklarovaná přesnost podle technické zprávy DMR 4G. Zároveň technická zpráva DMR 4G připouští lokální chyby. Tyto chyby by neměly překročit dvojnásobek úplné střední chyby v 95 % případech ani trojnásobek úplné střední chyby v 99,7 % případech. U podrobného bodu č. 58 byl výškový rozdíl 1,1 m, i přes to byly splněny deklarované výšky. Tuto anomálii lze vysvětlit čtvercovou sítí 5x5 m, která nemůže zcela vystihnout terénní anomálie a hrany svahů. V tomto případě se bod č. 58 nachází v blízkosti hrany svahu a vzhledem k velikosti pixelu vznikla tato nepřesnost.

Tabulka č. 3- Hodnotící kritéria.

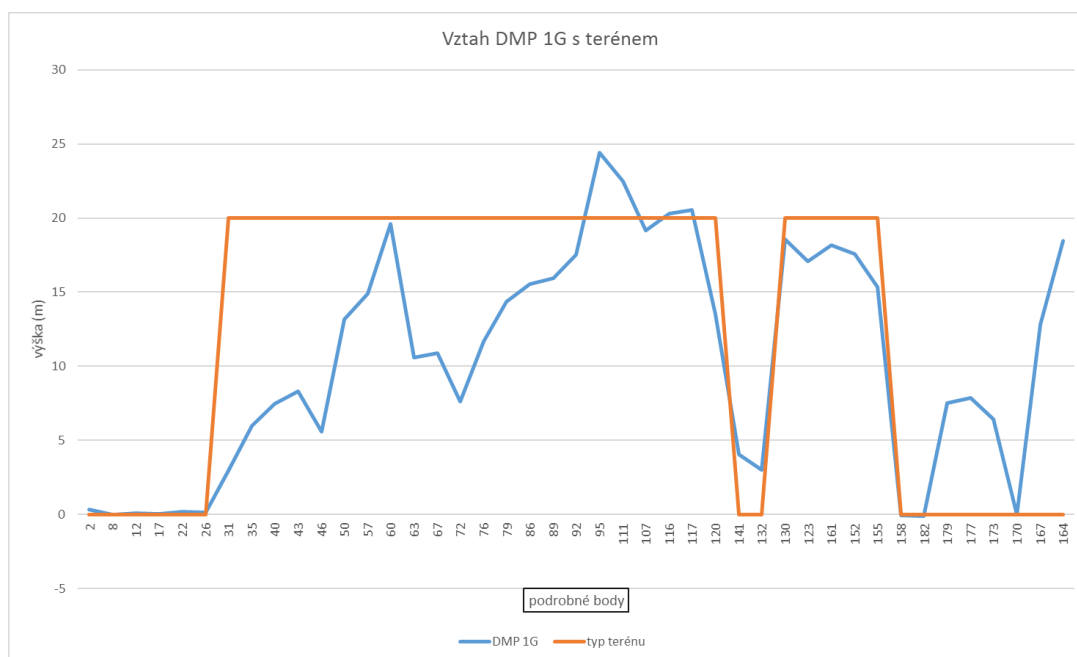
odkrytý terén			
hodnotící kritéria	1G	4G	5G
CH	2,95	-0,04	-0,12
MAV	3,04	0,13	0,14
RMSE	5,93	0,20	0,31
zakrytý terén			
hodnotící kritéria	1G	4G	5G
CH	13,08	0,39	-0,04
MAV	13,08	0,39	0,09
RMSE	14,00	0,44	0,12
celková data			
hodnotící kritéria	1G	4G	5G
CH	9,31	0,23	-0,07
MAV	9,34	0,30	0,11
RMSE	11,67	0,37	0,22

(ČÚZK, vlastní zpracování)

DMR 5G deklaruje úplnou střední chybu 0,18 m v odkrytém terénu a 0,3 m v terénu s hustou vegetací. V případě dat získaných z aplikace ČÚZK v odkrytém terénu činí RMSE 0,31 m. To znamená, že podle technické zprávy DMR 5G nebyla splněna deklarovaná přesnost. Vysokou úplnou střední chybu bodu č. 178 lze vysvětlit změnou vegetačního zákrytu v čase. Rozdíl ve výšce bodu č. 178 od skutečného zaměření činí 1,17 m. Jelikož tento bod přesahuje trojnásobek úplné střední chyby lze jej dle technické zprávy zařadit do sumy 0,3% bodů, které se vymykají od normálu. Rozdíl ve výšce byl překročen šestinásobně. V zakrytém terénu s vegetací činí RMSE 0,12 m. Z toho vyplývá, že podmínka úplné střední chyby byla splněna. RMSE v odkrytém terénu vyšlo vyšší než v terénu s hustou vegetací. Je to zejména způsobeno hustými nízkými porosty, jako jsou trávy, lesní školky aj. V místech se vzrostlými stromy jsou místa, kde laserový paprsek pronikne až k zemi. Proto zejména podle Baltsaviase (1999) na loukách a pastvinách nemá laserový paprsek možnost proniknout až k zemi a odrazí se od vegetace zpět k přijímači.

4.3.2 Podélný profil č. 2

Jak ukazuje mapa č. 2. je tento profil záměrně sestrojený na druhé straně krajnice asfaltu od podélného profilu č. 1. Tato západní krajnice cyklostezky se nachází blíže ke svahu (profil č. 3). Výsledky by měly být velice podobné jako v předchozím podélném profilu. Ale podle Mukherjeeho (2010) tyto výsledky ovlivní morfologie terénu. Následujícími výpočty podle Brázdila (2020) a porovnáním získaných dat zjistíme tížené odchylky.



Graf č. 3- Porovnání DMP 1G s terénem- podélný profil č. 2

(ČÚZK, vlastní zpracování)

Z grafu č. 3 je opět patrný blízký vztah mezi DMP 1G a vegetací. Pro lepší grafické znázornění byla přiřazena k otevřenému terénu hodnota 0 m a k terénu zarostlému vegetací byla přiřazena hodnota 20 m. U podrobných bodů 164, 167, 173, 177 a 179 neodpovídal vztah vzhledem k otevřenému terénu. Mohlo to být způsobené odtěžením vzrostlých stromů v nedávné době.

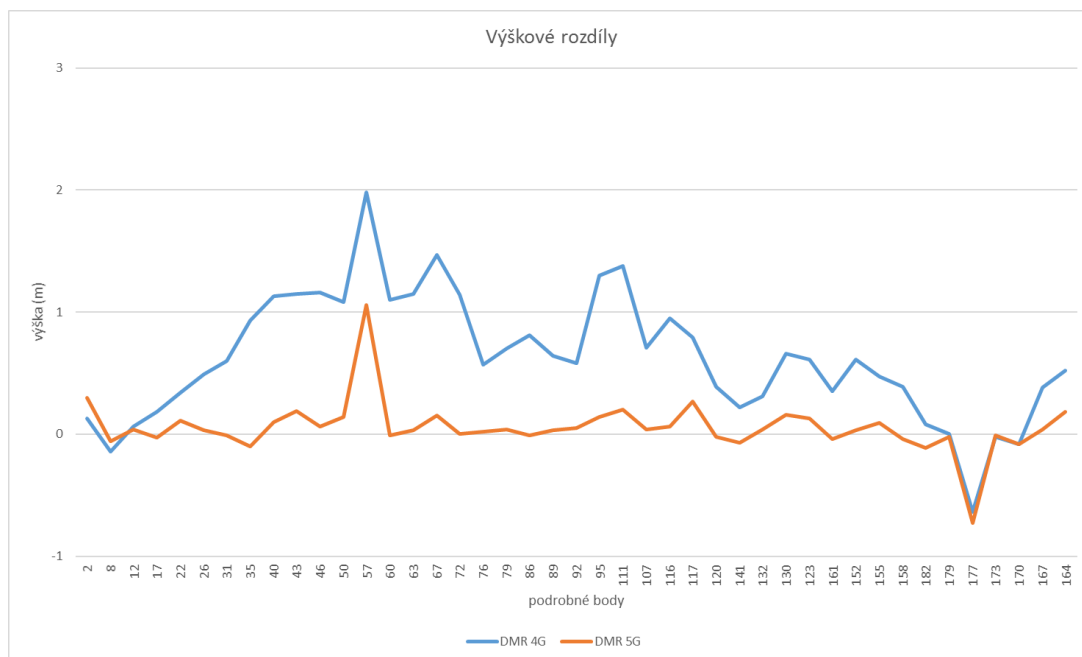
Rozdíly výšek nalezneme v tabulce č. 4, která byla vypočtena podle vzorce $\Delta H = H_p - H_{geo}$, uvedené v kapitole č. 3.4. Nejvyšší nadmořská výška podélného profilu č. 2 činí 419,62 m n. m. Nejnižší nadmořská výška dosahuje 379,62 m n. m.

Tabulka č. 4- Absolutní výšky a výškový rozdíl jednotlivých DMR.

Podélný profil č. 2								
číslo bodu	absolutní výšky				otevřený terén= 0	výškový rozdíl		
	skut. zaměření	DMP 1G	DMR 4G	DMR 5G	zakrytý terén=20	DMP 1G	DMR 4G	DMR 5G
2	418,15	418,46	418,28	418,45	0	0,31	0,13	0,3
8	419,29	419,27	419,15	419,23	0	-0,02	-0,14	-0,06
12	419,62	419,68	419,68	419,66	0	0,06	0,06	0,04
17	419,18	419,22	419,36	419,15	0	0,04	0,18	-0,03
22	418,72	418,89	419,06	418,83	0	0,17	0,34	0,11
26	417,78	417,92	418,27	417,81	0	0,14	0,49	0,03
31	416,79	419,76	417,39	416,78	20	2,97	0,6	-0,01
35	415,39	421,36	416,32	415,29	20	5,97	0,93	-0,1
40	414,11	421,57	415,24	414,21	20	7,46	1,13	0,1
43	412,51	420,84	413,66	412,7	20	8,33	1,15	0,19
46	411,21	416,79	412,37	411,27	20	5,58	1,16	0,06
50	409,25	422,41	410,33	409,39	20	13,16	1,08	0,14
57	408,43	423,35	410,41	409,49	20	14,92	1,98	1,06
60	405,85	425,47	406,95	405,84	20	19,62	1,1	-0,01
63	404,02	414,59	405,17	404,05	20	10,57	1,15	0,03
67	402,66	413,54	404,13	402,81	20	10,88	1,47	0,15
72	401,56	409,15	402,7	401,56	20	7,59	1,14	0
76	400,27	411,96	400,84	400,29	20	11,69	0,57	0,02
79	399,41	413,75	400,11	399,45	20	14,34	0,7	0,04
86	398,96	414,49	399,77	398,95	20	15,53	0,81	-0,01
89	398,42	414,35	399,06	398,45	20	15,93	0,64	0,03
92	397,83	415,37	398,41	397,88	20	17,54	0,58	0,05
95	397,17	421,56	398,47	397,31	20	24,39	1,3	0,14
111	396,48	418,94	397,86	396,68	20	22,46	1,38	0,2
107	395,45	414,61	396,16	395,49	20	19,16	0,71	0,04
116	394,33	414,62	395,28	394,39	20	20,29	0,95	0,06
117	393,28	413,82	394,07	393,55	20	20,54	0,79	0,27
120	392,31	405,83	392,7	392,29	20	13,52	0,39	-0,02
141	391,58	395,64	391,8	391,51	0	4,06	0,22	-0,07
132	390,81	393,82	391,12	390,85	0	3,01	0,31	0,04
130	389,64	408,18	390,3	389,8	20	18,54	0,66	0,16
123	388,43	405,52	389,04	388,56	20	17,09	0,61	0,13
161	387,66	405,83	388,01	387,62	20	18,17	0,35	-0,04
152	385,62	403,2	386,23	385,65	20	17,58	0,61	0,03
155	383,24	398,56	383,71	383,33	20	15,32	0,47	0,09
158	381	380,95	381,39	380,96	0	-0,05	0,39	-0,04
182	380,46	380,32	380,54	380,35	0	-0,14	0,08	-0,11
179	380,02	387,53	380,02	380	0	7,51	0	-0,02
177	379,62	387,48	378,98	378,89	0	7,86	-0,64	-0,73
173	379,78	386,18	379,76	379,77	0	6,4	-0,02	-0,01
170	380,66	380,64	380,58	380,58	0	-0,02	-0,08	-0,08
167	382,36	395,16	382,74	382,4	0	12,8	0,38	0,04
164	383,24	401,72	383,76	383,42	0	18,48	0,52	0,18

(ČÚZK, vlastní zpracování)

Vzhledem k nalezení vztahu mezi terénem a DMP 1G uvedeném v grafu č. 3 nebylo nutné tento digitální model terénu dále zkoumat. Z důvodu vysokých výškových rozdílů DMP 1G od skutečného zaměření by byly následující grafy nepřehledné. V grafu č. 4 vidíme rozdíl ve výškách jednotlivých DMR, které jsou odečteny od geodetického zaměření. V porovnání s grafem č. 2 jsou vidět větší odlišnosti i přesto, že oba souběžné podélné profily se od sebe výškou téměř neliší a jsou od sebe vzdáleny v průměru 1,8 m.



Graf č. 4- Výškový rozdíl mezi skutečným zaměřením a DMR 4 a 5G.

(ČÚZK, vlastní zpracování)

Z tabulky č. 4 je již patrné, že výsledky v zakrytém terénu DMR 4G nebudou přesné. Celkem 11 bodů v zakrytém terénu přesahuje rozdíl ve výšce o více jak 1 m. RMSE činí 0,98 m a deklarovaná chyba byla pouze o 2 cm splněna. V porovnání s profilem č. 1, který byl zaměřován na stejné úrovni, bylo zjištěno, že RMSE se liší o 0,54 m. Důvodem je blízký svah, který se nachází západním směrem od profilu č. 2. V odkrytém terénu činí RMSE 0,31 m. V porovnání s profilem č. 1 bylo RMSE překročeno o 0,11 m. Opět je důvodem blízký svah a velikost pixelů DMR 4G. V tomto případě byla deklarovaná chyba definovaná technickou zprávou DMR 4G překročena o 0,01 m.

U DMR 5G byla v otevřeném terénu překročena mez od stanovené deklarované technické zprávy o 0,03 m a činila 0,21 m. Vysvětlení je obdobné jako u DMR 4G. V zarostlém terénu byla deklarovaná přesnost splněna a má hodnotu 0,23 m.

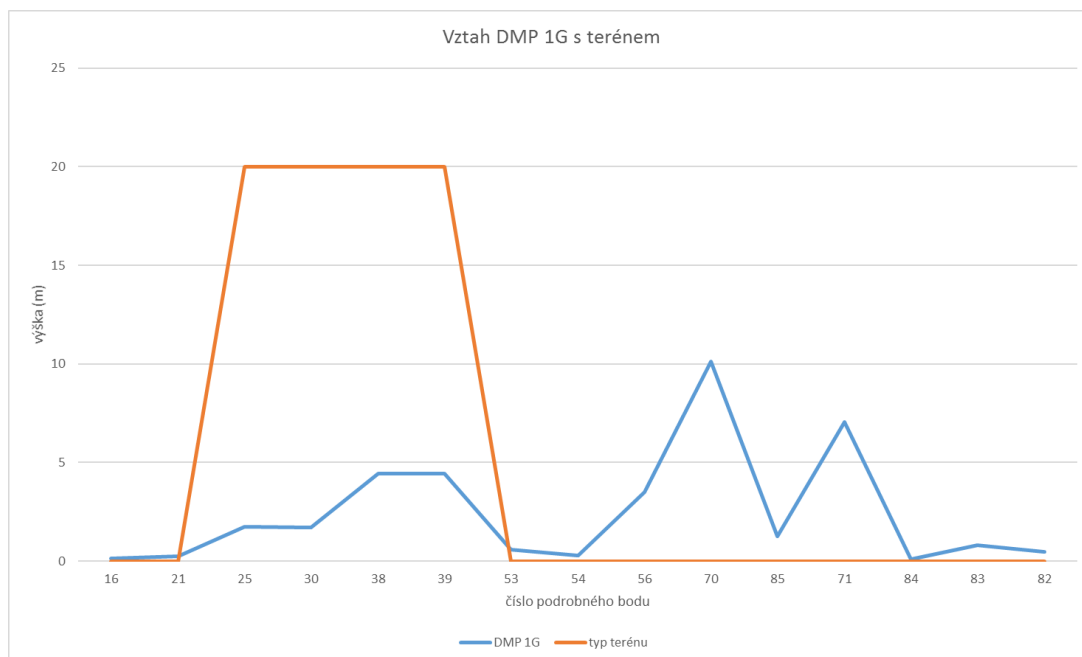
Tabulka č. 5- Hodnotící kritéria.

odkrytý terén			
hodnotící kritéria	1G	4G	5G
CH	3,79	0,14	-0,03
MAV	3,82	0,25	0,12
RMSE	6,57	0,31	0,21
zakrytý terén			
hodnotící kritéria	1G	4G	5G
CH	13,73	0,90	0,10
MAV	14,41	0,90	0,12
RMSE	15,40	0,98	0,23
celková data			
hodnotící kritéria	1G	4G	5G
CH	10,46	0,62	0,06
MAV	10,47	0,66	0,12
RMSE	12,85	0,80	0,22

(ČÚZK, vlastní zpracování)

4.3.3 Podélný profil č. 3

Graf č. 5 znázorňuje vztah mezi DMP 1G a vegetací, která se nachází ve sledovaném profilu. Body č. 70 a 71 se nacházejí nyní v odkrytém terénu, ale dříve se tam pravděpodobně nacházel vzrostlý strom. Pro lepší grafické znázornění byla přiřazena k otevřenému terénu hodnota 0 m a k terénu zarostlému vegetací hodnota 20 m. Trasa podélného profilu je znázorněna v mapě č. 3. Podélný profil je záměrně sestrojen na hraně svahu.



Graf č. 5- Porovnání DMP 1G s terénem- podélný profil č. 3

(ČÚZK, vlastní zpracování)

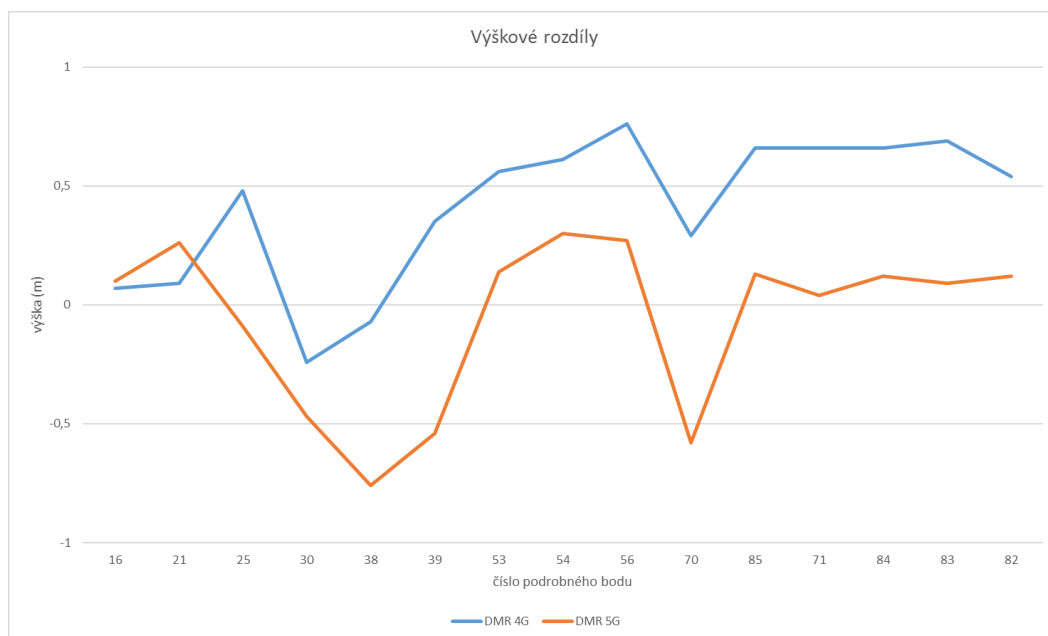
V tabulce č. 6 vidíme přesně dané výšky terénu. Zároveň zde lze určit nejvyšší bod podélného profilu, který činí 419,8 m a nejnižší bod, který má hodnotu 404,43 m.

Tabulka č. 6- Absolutní výšky a výškový rozdíl jednotlivých DMR.

Podélný profil č. 2								
číslo bodu	skut. zaměření	absolutní výšky			otevřený terén=0	výškový rozdíl		
		DMP 1G	DMR 4G	DMR 5G	zakrytý terén= 20	DMP 1G	DMR 4G	DMR 5G
16	419,68	419,8	419,75	419,78	0	0,12	0,07	0,1
21	419,58	419,81	419,67	419,84	0	0,23	0,09	0,26
25	418,82	420,55	419,3	418,73	20	1,73	0,48	-0,09
30	419,22	420,92	418,98	418,75	20	1,7	-0,24	-0,47
38	418,23	422,68	418,16	417,47	20	4,45	-0,07	-0,76
39	417,16	421,6	417,51	416,62	20	4,44	0,35	-0,54
53	416,65	417,22	417,21	416,79	0	0,57	0,56	0,14
54	414,82	415,11	415,43	415,12	0	0,29	0,61	0,3
56	411,68	415,18	412,44	411,95	0	3,5	0,76	0,27
70	408,24	418,38	408,53	407,66	0	10,14	0,29	-0,58
85	408,44	409,69	409,1	408,57	0	1,25	0,66	0,13
71	407,55	414,61	408,21	407,59	0	7,06	0,66	0,04
84	406,81	406,89	407,47	406,93	0	0,08	0,66	0,12
83	405,72	406,51	406,41	405,81	0	0,79	0,69	0,09
82	404,43	404,89	404,97	404,55	0	0,46	0,54	0,12

(ČÚZK, vlastní zpracování)

Vývoj obou digitálních modelů je podobný a je znázorněný v grafu č. 6. Vzhledem k menšímu počtu zaměřených bodů je vyšší pravděpodobnost nesplnění deklarované přesnosti technickými zprávami jednotlivých DMR.



Graf č. 6- Výškový rozdíl mezi skutečným zaměřením a DMR 4 a 5G.

(ČÚZK, vlastní zpracování)

V tabulce č. 7 jsou uvedeny výsledky komparace. V odkrytém terénu pro DMG 4G činí RMSE 0,56 m, tím byla překročena deklarovaná přesnost o 0,26 m. V zakrytém terénu byly výsledky překvapivě přesnější. RMSE má hodnotu 0,32 m. Lze to vysvětlit vysokým travním porostem v odkrytém terénu při leteckém snímkování.

Výsledky u DMR 5G jsou obdobné. V otevřeném terénu byla RMSE překročena o 0,08 m a v zakrytém o 0,22 m. V tomto případě DMR 4G má vyšší přesnost než DMR 5G. Lze to vysvětlit malým vzorkem dat.

Tabulka č. 7- Hodnotící kritéria.

odkrytý terén			
hodnotící kritéria	1G	4G	5G
CH	2,23	0,51	0,09
MAV	2,23	0,51	0,20
RMSE	3,90	0,56	0,25
zakrytý terén			
hodnotící kritéria	1G	4G	5G
CH	3,08	0,13	-0,47
MAV	3,08	0,28	0,47
RMSE	3,37	0,32	0,52
celková data			
hodnotící kritéria	1G	4G	5G
CH	2,45	0,41	-0,06
MAV	2,45	0,45	0,27
RMSE	3,77	0,51	0,35

(ČÚZK, vlastní zpracování)

4.3.4 Porovnání trigonometrického a zhušťovacího bodu v aplikaci ČÚZK

Vzhledem k tomu, že trigonometrické a zhušťovací body byly použity pro zpřesnění digitálních modelů terénu, bude jejich přesnost a kvalita ověřena jen namátkově. Poloha těchto bodů je graficky znázorněna v mapě č 3.

Tabulka č. 8- Absolutní výšky a výškový rozdíl trig. a zhušť. bodů.

číslo bodu	absolutní výška					výškový rozdíl		
	skutečné zaměření	výška- protokol	DMP 1G	DMR 4G	DMR 5G	DMP 1G	DMR 4G	DMR 5G
940130330	424,26	424,27	424,18	424,25	423,93	0,08	0,01	0,33
930052320	392,11	392,15	392,33	392,9	392,32	-0,22	-0,79	-0,21

(ČÚZK, vlastní zpracování)

Díky těmto bodům bude také ověřena podle přesnost geodetického zaměření. Dále na základě porovnání naměřené výšky GPS metodou a informací o bodech z ČÚZK (viz příloha č. 2) lze konstatovat, že přesnost měření GPS přístrojem Trimble R4-2 je ověřena (viz tabulka č. 8). Bod č. 940130330 (trigonometrický bod) se liší ve výšce od údajů v protokolu ČÚZK pouze o 1 cm a bod č. 930052320 (zhušťovací bod) se liší o 4 cm.

Trigonometrický bod v modelu DMR 4G odpovídá výšce uvedené v protokolu ČÚZK. V DMR 5G neodpovídá o celých 33 cm. Může to být způsobené jeho umístěním. Nachází se v otevřeném terénu na louce přímo ve skruži nad terénem. Lze se tedy domnívat, že výška bodu v DMR 5G byla upravena podle okolního terénu.

Zhušťovací bod v modelu DMR 4G neodpovídá o 79 cm. Nad bodem se nachází strom, jenž to zapříčinil. V modelu DMP 1G je rozdíl ve výšce 22 cm. V technické zprávě tohoto modelu je uvedeno, že je měřena výška stromů či budov nad plochu o velikosti 25 m². V tomto případě se jedná o menší plochu. Což odpovídá také rozdílu výšky v DMR 5G, který je téměř shodný s DMP 1G a činí 21 cm. DMP 1G je odvozený z DMR 5G. Zároveň zde existuje pravděpodobnost, že tento bod nebyl použit pro vyrovnání digitálního modelu reliéfu 5 generace.

4.4 Shrnutí výsledků a diskuse

Komparace výškových modelů ČR s vlastním geodetickým zaměřením probíhala v prostředí programu ArcGIS map u DMR 4G a digitalizovaných vrstevnic ZABAGED. Další hodnocení výškových geodat DMP 1G, DMR 4G a 5G bylo vyhodnoceno v aplikaci ČÚZK. Neupravený rastrový DMR 4G model byl poskytnut Ústavem pro globální změny ČR.

Při porovnávání DMP 1G se skutečným stavem byly zjištěny velké RMSE chyby. Tento digitální model znázorňuje povrch Země, nikoliv terén. Z tohoto důvodu je digitální model 1G využit pro kontrolu oblastí, jež se nacházejí v zákrytu husté vegetace (Kolejka, 2002). Na základě tohoto modelu podle Menga a kol. (2010) můžeme zjistit průměrnou nadmořskou výšku porostů, které jsou lokalizovány ve zkoumané oblasti. V případě zhušťovacího bodu, který je umístěn pod korunou stromu činil rozdíl ve výšce u DMP 1G pouze 8 cm. Důvodem nízkého rozdílu ve výšce je fakt, že DMP 1G zaznamenává výšku povrchu u souvislého porostu nad 25 m².

Na základě technických zpráv jednotlivým digitálních modelů reliéfu byla ověřena jejich přesnost a kvalita prostřednictvím metody RMSE. Použití těchto metod popisuje ve své publikaci Brázdil (2010). V těchto zprávách byly také zmíněny možné chyby v členitém reliéfu a husté vegetaci. Průměrné RMSE u DMR 5G činí 0,3 m v terénu pokrytém hustou vegetací a 0,18 m v terénu bez vegetace. Z celkových výsledků zaměřené cyklostezky vyplývá, že u podélného profilu č. 1 byla hodnota RMSE překročena v odkrytém terénu o 13 cm. Naopak v zakrytém terénu vegetací mělo RMSE lepší výsledky. Hodnota činí 0,12 m. Obdobně tomu bylo v případě profilu č. 2, kdy hodnota RMSE byla překročena pouze o 3 cm a v terénu zakrytém vegetací

splňovala deklarovanou chybu. Tento fakt podle Menga a kol. (2010) lze vysvětlit roční dobou leteckého snímkování, kdy se vyskytovala v otevřeném terénu vysoká tráva, která bránila laserovým paprskům proniknout až k zemi. Vzhledem ke skutečnosti, že profil č. 1 znázorňuje východní krajnici cyklostezky a profil č. 2 západní, díky velmi podobným výškám je lze porovnávat mezi sebou. Lepší kvalita dat byla prokázána u profilu č. 1. Důvodem rozdílných výsledků dle ukazatele RMSE je nedaleký svah (profil č.3), který se nachází blíže k profilu č. 2 (viz mapa č. 3). Ve své publikaci popisuje Mukherjee (2013), že přesnost digitálních modelů je závislá na morfologii terénu. Tato skutečnost je potvrzena výsledným RMSE ukazatelem u profilu č. 2. Hodnota činí v zakrytém terénu, kde je svah nejstrmější 0,98 m, ale i s touto skutečností byla deklarovaná chyba splněna o 2 cm. V terénech se zákrytem husté vegetace nebylo u DMR 4G zjištěno vyšší RMSE, než je uvedeno v technické zprávě. V odkrytém terénu byly hodnoty RMSE překročeny oproti technické zprávě DMR 4G u profilu č. 2 o 1 cm a u profilu č. 3 o 26 cm.

U profilu č. 3 v DMR 5G nebyly splněny deklarované chyby v obou případech. V odkrytém terénu hodnota činila 0,25 m a v zakrytém terénu vzrostlými stromy měla hodnota RMSE 0,52 m. Vysvětlení je možné nalézt v poloze zaměřovaných bodů, které se nacházely na hraně svahu (Mukherjee, 2013), souběžně také na rozhraní vzrostlých stromů a trvalého travního porostu. Zároveň to mohlo být způsobeno podle Chena (2010) malým vzorkem zkoumaných bodů, který je i přes tuto skutečnost důvěryhodný, jak ukazuje profil č. 3. Celkem ze 101 zkoumaných bodů se ve všech profilech objevily 2 body u DMR 5G, které měly hodnotu v rozdílu výšky přes 1 m. Celkem 98 % bodů ve všech podélných profilech DMR 5G zkoumaných v aplikaci ČÚZK se nacházely v rozdílu výšek od skutečného zaměření pod 1m a celkem 94 % zaměřených bodů nepřesáhlo chybu 0,5 m. V případě DMR 4G mělo 12 podrobných bodů rozdíl ve výšce oproti skutečnému stavu vyšší než 1 m. Celkem 88 % bodů se nacházelo pod úrovní 1m a 66% podrobných bodů má rozdíl ve výšce do 0,5 m.

V hodnocení rastru DMR 4G a vrstevnic ZABAGED v programu ArcGIS map byly zjištěny překvapující výsledky. Celkem ze 184 naměřených bodů bylo RMSE u DMR 4G překročeno v otevřeném terénu o 10 cm. V zakrytém terénu má hodnotu 0,57 m a tím splňuje deklarovanou chybu. Celkem 17 bodů má výškový rozdíl vyšší než 1 m, a to znamená, že 91 % bodů se nachází pod 1 m výškového rozdílu. Zároveň 77 % bodů se vejde do rozpětí 0 až 0,5 m. S porovnáním dat DMR 4G z aplikace ČÚZK a

rastrového DMR 4G zjistíme téměř shodný výsledek. I přes toto zjištění dosahuje DMR 4G, který je zpracován v programu ArcGIS map lepších výsledků. Celkem 77 % bodů se nachází pod úrovní 0,5 m výškového rozdílu. Na základě této skutečnosti a publikace od Chena (2010) lze dokázat tvrzení, čím více podrobných bodů (pixelů) vložíme do zkoumaného vzorku, tím více dosáhneme přesnějších a kvalitnějších výsledků.

U vrstevnic ZABAGED činí RMSE 0,51 m v odkrytém terénu a 0,63 m v terénu s hustou vegetací, celkem 90 % bodů se nachází pod úrovní 1 m. Tento výsledek je velmi podobný i u DMR 4G., kdy 71 % výsledků mělo rozdíl výšek do 0,5 m. Oproti DMR 4G dosahují vrstevnice ZABAGED nepatrně horších výsledků. V diplomové práci Divišová (2006) uvádí, že v případě silnic a železnic lze u vrstevnic očekávat horších výsledků v přesnosti výšek. Je to zejména způsobeno s násypem zhutněné hlíny a kamení.

5 Závěr

Tato diplomová práce se věnuje komparaci výškopisných geodat různých digitálních modelů reliéfu a povrchu se skutečným stavem. Byla zde zkoumána přesnost a kvalita jednotlivých bodů (pixelů) na cyklostezce u obce Purkarec. Pro porovnání byla zvolena liniová stavba, která zapříčinila deformace rastru při interpolaci geodat. Z tohoto důvodu bylo nutné vyselektovat pouze nejpřesnější geodata, a proto mnoho výpočtů probíhalo v atributové tabulce programu ArcGIS map.

Jelikož pracuji v geodetické firmě, která se zabývá komplexními pozemkovými úpravami, bylo obtížné udržet téma práce v obecné rovině a nezabývat se příliš využitím digitálních modelů reliéfu v prostředí komplexních pozemkových úprav, popřípadě v zemědělství. Proto jsou v teoretické části pouze naznačena různá využití digitálních modelů reliéfu ve výše zmíněném prostředí.

Geodetické zaměření bylo prováděno v terénu bez sněhové pokrývky. Ta by mohla zapříčinit nepřesnosti ve vstupních datech. I přesto, že totální stanice Trimble S8 HD disponuje funkcí robotic, která umožňuje automatické držení hranolu, bylo pro získání přesných a kvalitních podrobných bodů v terénu potřeba poskytnutí pomoci druhého člověka. Zároveň bylo nutné vyžádat si pro vjezd na cyklostezku povolení po dobu měření.

Pro grafické znázornění veškerých geodat byl použit program ArcGIS scene a ArcGIS map. Pro další jiná zpracování surových dat byl využit program Groma 12 a program Microstation SE. Použití právě těchto programů je odůvodněno tím, že s nimi pracuji téměř denně ve svém pracovním prostředí.

Jako kvalitní a nejpřesnější model byl vyhodnocen DMR 5G. Díky této diplomové práci jsem se přesvědčil o vysoké míře přesnosti jednotlivých zdrojů výškopisu, ale také jsem se setkal s chybami, kterým lze při používání aplikace ČÚZK v pracovním nasazení předejít.

Na základě zdigitalizování vrstevnic ZABAGED a následném vytvoření rastru byla vypočtena úplná střední chyba, která se svou přesností velmi podobala digitálnímu modelu reliéfu 4 generace. Díky tomuto zjištění můžeme říci, že při přesném zdigitalizování vrstevnic ZABAGED lze použít vytvořený rastr

pro různé výstupní modely, aniž by se ve výsledných výstupech nacházely hrubé chyby, jak ve své publikaci zmiňuje Wu (2008). Ve své práci hodnotím pozitivně zjištění výsledných hodnot RMSE pro vrstevnice ZABAGED, a to i z důvodu, že jsou využívány velmi často v komplexních pozemkových úpravách.

6. Zdroje

6.1 Knižní zdroje

BALTSAVIAS, E.P, GRIFT, E. T. 1999. Basic relations and formulas. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 134 s. ISSN 09242716. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924271699000155>

BALTSAVIAS, E. P., GRIFT, E.T., 1999. A comparison between photogrammetry and laser scanning: Sensitivity to elevation data resolution. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 214 s. ISSN 09242716. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924271699000143>

BRÁZDIL, K. 2010. Projekt tvorby nového výškopisu území České republiky. Příspěvek na konferenci „GIS Ostrava 2010“. 7.s. Dostupné z: http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2010/sbornik/Lists/Papers/CZ_5_2.pdf

BRÁZDIL, K. 2012 Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 4. generace (DMR 4G). Zeměměřický ústav, 11.s. Dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA_ZPRAVA_DMR_4G_15012012.pdf

BRÁZDIL, K. 2016. Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 5. generace (DMR 5G). Zeměměřický ústav, 12.s. Dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA_ZPRAVA_DMR_5G.pdf

BROVELLI, M. A., CANNATA, M., LONGONI U.M. 2004. LIDAR Data Filtering and DTM Interpolation Within GRASS: basic relations and formulas. Transactions in GIS. 155-174s. ISSN 1361-1682. Dostupné také z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1467-9671.2004.00173.x>

BŘOUŠEK, L., 2011. Šest desetiletí vojenského zeměměřičství v Dobrušce. Dobruška: Ministerstvo obrany ČR, Geografická služba AČR, Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad. 169 s. ISBN 978-80-260-1021-0.

COOK, A., MERWADE, V. 2009. Effect of topographic data, geometric configuration and modeling approach on flood inundation mapping. Journal of Hydrology. 225 s. ISSN 00221694. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169409004909>

DEBELLA-GILO, M., ETZELMÜLLER, B., ISCAN, F., FERNÁNDEZQUINTANILLA, C., DORADO, J. 2009. Spatial prediction of soil classes using digital terrain analysis and multinomial logistic regression modeling integrated in GIS: Examples from Vestfold County, Norway. CATENA. 75 s. ISSN 03418162. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S034181620800177X>

DEMETRIOU, D., STILLWELL, J., SEE, L. 2012. Land consolidation in Cyprus: Why is an Integrated Planning and Decision Support System required? Land Use Policy. 260 s. ISSN 02648377. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0264837711000536>

DIONISIO, A., ESCOLÀ, A., ROSELL-POLO, R. J., FERNÁNDEZQUINTANILLA, C., DORADO, J., 2013. Potential of a terrestrial LiDAR-based system to characterise weed vegetation in maize crops. *Computers and Electronics in Agriculture*. 103 s. ISSN 01681699. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168169913000033>

DIVIŠOVÁ, M. 2006. Kontrola přesnosti digitálního modelu reliéfu ZABAGED porovnáním s výškopisem technickohospodářské mapy v lokalitě Česká Skalice. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, fakulta aplikovaných věd katedry matematiky. 69 s.

DOBOS, E., CARRÉ, F., HENGL, T., REUTER, I. H., TÓTH, G. 2006. Digital Soil Mapping as a support to production of functional maps. EUR 22123 EN. Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg. 68 s. Dostupné z: http://esdac.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/eusoils_docs/other/EUR22123.pdf

DOLANSKÝ, T., 2004. Lidary a letecké laserové skenování. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem. 100 s. ISBN 80-7044-575-0.

EHLERT, D., HEISIG, M., ADAMEK, R., BAERDEMAEKER, J., HACKER, J. M., WALKER, J., P. 2010. Suitability of a laser rangefinder to characterize winter wheat: basic relations and formulas. *Precision Agriculture*. 650-663 s. ISBN 0-7803-4403-0. ISSN 1385-2256. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s11119-010-9191-4>

EITEL, J. U. H., MAGNEY, T.S., VIERLING, L. A., BROWN, T. T., HUGGINS, D. R. 2014. LiDAR based biomass and crop nitrogen estimates for rapid, non-destructive assessment of wheat nitrogen status: Evidence from Bulgaria. *Field Crops Research*. 21-32 s. ISSN 03784290. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378429014000161>

EVANS, J. S., HUDAK, A.T., ADAMEK, R., BAERDEMAEKER, J., HACKER, J. M., WALKER, J. P. 2007. A Multiscale Curvature Algorithm for Classifying Discrete Return LiDAR in Forested Environments: basic relations and formulas. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 1029-1038 s. ISBN 0-7803-4403-0. ISSN 0196-2892. Dostupné také z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4137852>

FILIN, S. 2002. Surface clustering from airborne laser scanning data. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 119-124 s. Dostupné také z: <http://www.isprs.org/proceedings/XXXIV/part3/papers/paper120.pdf>

FISHER, P. F., HUDAK, A. T., ADAMEK, R., BAERDEMAEKER, J., HACKER, J. M., WALKER, J. P. 1993. Algorithm and implementation uncertainty in viewshed analysis: basic relations and formulas. International journal of geographical information systems. 331-347 s. ISBN 0-7803-44030. ISSN 0269-3798. Dostupné také z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02693799308901965>

FIŠER. Z., 2006. Mapování. Brno: Akademické nakladatelství CERM. 146 s. ISBN 80-7204-472-9

HAALA, N., BRENNER, C. 1999. Extraction of buildings and trees in urban environments. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing [online]. 214 s. [cit. 2021-03-20]. ISSN 09242716. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924271699000106>

HANÁK, K., 2003. Zpřístupňování lesa, trasování a projektování lesních odvozních cest. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. 116 s. ISBN 80- 7157- 685- 9.

HÁNEK. P., 2010. Geodézie pro SPŠ stavební. Praha: Sobotáles. 321 s. ISBN 978- 80- 86817-36-1.

HOFIERKA, J., PARAJKA, J., MITASOVA, H., MITAS, L. 2002. Multivariate Interpolation of Precipitation Using Regularized Spline with Tension. Transactions in GIS [online]. 135-150. ISSN 1361-1682. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/1467-9671.00101>

HOLLAUS, M., WAGNER, W., KRAUS, K., ALTHOUSE, L., HOLMES, K., JEFFREI, A., WALKER, P. 2005. Airborne laser scanning and usefulness for hydrological models: basic relations and formulas. Advances in Geosciences. 57-63 s. ISBN 0-7803-4403-0. ISSN 1680-7359. Dostupné také z: <https://www.soils.org/publications/sssaj/abstracts/64/6/2046>

HOLLAUS, M. 2006. Large Scale Applications of Airborne Laser Scanning for a Complex Mountainous Environment. Disertační práce. Vienna University of Technology, Vienna, Austria.

HORÁK, J., 2011. Zpracování prostorových dat a tvorba statistických map pro potřeby analýz trhu práce. Ostrava: VŠB- Technická univerzita. 211 s. ISBN 978- 80- 248- 2442-0.

HUG, Ch., ULLRICH, A., GRIMM, A. 2004. A waveform-digitizing LIDAR terrain and vegetation mapping system. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial information Sciences. 24-29 s. Dostupné také z: <http://www.isprs.org/proceedings/xxxvi/8-w2/hug.pdf>

HYYPPA, J., HYYPPA, H., LITKEY, P., YU, X., a kol. 2004. Algorithms and methods of airborne laser scanning for forest measurements. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 82-89 s. Dostupné také z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.222.3612&rep=rep1&type=pdf>

CHATEAU, T., DEBAIN, C., COLLANGE, F., TRASSOUDAIN, L., ALIZON, J., WALKER, J. P. 2000. Automatic guidance of agricultural vehicles using a laser sensor: A case study from the Camp Creek Watershed, Missouri. *Computers and Electronics in Agriculture*. IEEE. 257 s. ISBN 0-7803-4403-0. ISSN 01681699. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168169900001307>

CHARRIER, R., LI, Y., KRAUS, K., ALTHOUSE, L., HOLMES, K., WALKER, J. P. 2012. Assessing resolution and source effects of digital elevation models on automated floodplain delineation: A case study from the Camp Creek Watershed, Missouri. *Applied Geography*. IEEE, 38-46 s. ISBN 0-78034403-0. ISSN 01436228. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0143622811001895>

CHEN, Ch., YUE, T., LI, Y., FULLER, L. G., HUGGINS, D.R. 2010. A method of DEM construction and related error analysis: A DEM based assessment in an Australian Mediterranean environment. *Computers*. 717-725 s. ISSN 00983004. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S009830041000083X>

KAIZU, Y., NOGUCHI, N. 2009. Grass yield estimation using 3-D laser scanner. In: *Proceedings of the Fourth IFAC International Workshop on Bio-Robotics*,

Information Technology, and Intelligent Control for Bioproduction Systems, IFAC, Champaign, Illinois, USA

KLIMÁNEK, M., 2006. Digitální modely terénu. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. 85 s. ISBN 978-80-7157-982-3.

KOLEJKA, J., TEJKAL, M. 2002. Nejrychlejší pohled na svět. Přesný 3D model z laserového snímání. GEODIS News, roč. I, č. 1. s. 9-11.

KUDA, F., 2014. Aplikace pozemního laserového skenování v geovědních disciplínách. Brno: Ústav geoniky Akademie věd České republiky. 53 s. ISBN 978-80-86407-50-0.

KUPKOVÁ, L., 2011. Země očima satelitů. Praha: nakladatelství P3K. 51 s. ISBN 978-80-87186-55-8.

KWAK, Doo-Ahn, LEE Woo-Kyun a kol. 2007. Detection of individual trees and estimation of tree height using LiDAR data: A case study from the Camp Creek Watershed, Missouri. Journal of Forest Research. IEEE, 425-434. ISBN 0-7803-4403-0. ISSN 13416979. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s10310-007-0041-9>

LENAERTS, B., MISSOTTEN, B., BAERDEMAEKER, J., SAEYS, W., HUGGINS, D.R. 2012. LiDAR sensing to monitor straw output quality of a combine harvester: A DEM based assessment in an Australian Mediterranean environment. Computers and Electronics in Agriculture. 40-44. ISSN 01681699. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168169912000853>

LI, J., WONG, D.W.S., BAERDEMAEKER, J., SAEYS W., HUGGINS, D.R. 2010. Effects of DEM sources on hydrologic applications: A DEM based assessment in an

Australian Mediterranean environment. *Computers, Environment and Urban Systems*. 2010, 251-261 s. ISSN 01989715. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0198971509000933>

LILLESAND, T.L., KIEFER, R.W., CHIPMAN, J.W. 2004. *Remote sensing and Image Interpretation*. New York: Fifth Edition. John Wiley & Sons. Inc., 763 s.

LIN, Yu-Ching, MILLS, J.P. 2010. Factors Influencing Pulse Width of Small Footprint, Full Waveform Airborne Laser Scanning Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* [online]. 49-59 s. [cit. 2021-03-20]. ISSN 00991112. Dostupné z: <http://openurl.ingenta.com/content/xref?genre=article&issn=00991112&volume=76&issue=1&page=49>

LIU, X., ZHANG, Z., PETERSON, J., CHANDRA S. 2007. LiDAR-Derived High Quality Ground Control Information and DEM for Image Orthorectification. *GeoInformatica* [online]. 37-53 [cit. 2021-04-03]. ISSN 1384-6175. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10707-006-0005-9>

LIU, X. 2008. Airborne LiDAR for DEM generation: some critical issues. *Prog. Phys. Geog.* 31-49. Dostupné také z: <http://ppg.sagepub.com/content/32/1/31.short>

LIU, H., KIESEL, J., HORMANN, G., FOHRER, N. 2011. Effects of DEM horizontal resolution and methods on calculating the slope length factor in gently rolling landscapes. *Catena*. 368-375. Dostupné také z: https://www.researchgate.net/publication/235221493_Effects_of_DEM_horizontal_resolution_and_methods_on_calculating_the_slope_length_factor_in_gently_rolling_landscapes

MAGNUSSEN, S., EGGERMONT, P., LaRICCIA, P. V. N. 1999. Recovering tree heights from airborne LIDAR data. *Forest Science*. 407–422 s. Dostupné také z: <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=5307>

MALLET, C., BRETAR, F. 2009. Full-waveform topographic lidar: State-of-the-art. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* [online]. 1-16 s. [cit. 2021-04-03]. ISSN 09242716. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924271608000993>

MARTÍNEZ, R., SOLLA, M., ARIAS, P., ARMESTO, J., MOULIN A., FRASER, W. R. 2013. Semi-automatic land consolidation software based on geographic information systems: A DEM based assessment in an Australian Mediterranean environment. *Computers and Electronics in Agriculture*. 1-5. s. ISSN 01681699. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S016816991300135X>

MAYER, Z., ZEMEK, F. 2015. Digitální model reliéfu jako podklad pro návrh vodohospodářských opatření v pozemkových úpravách. *Vodní hospodářství*, č. 3, s. 510.

MCKINION, J.M., WILLERS, J. L., JENKINS, J. N. 2010. Spatial analyses to evaluate multi-crop yield stability for a field. *Computers and Electronics in Agriculture* [online]. 187-198 s. [cit. 2021-03-20]. ISSN 01681699. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168169909002154>

MCKINION, J.M., WILLERS, J. L., JENKINS, J. N., ARMESTO, J., MOULIN, A., FRASER, W.R. 2010. Comparing high density LIDAR and medium resolution GPS generated elevation data for predicting yield stability: A DEM based assessment in an Australian Mediterranean environment. *Computers and Electronics in Agriculture*. 244-249 s. ISSN 01681699. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168169910001559>

MENG X., CURRIT, N., KAIGUANG, Z. 2010. Ground Filtering Algorithms for Airborne LiDAR Data: A Review of Critical Issues. Remote Sens. 833-860 s. Dostupné také z: <http://www.mdpi.com/2072-4292/2/3/833>

MIŘIJOVSKÝ, J., 2013. Bezpilotní systémy. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci pro katedru geoinformatiky. 169 s.

MITÁŠOVÁ, H., MITÁŠ, L., HARMON, R.S. 2005. Simultaneous Spline Approximation and Topographic Analysis for Lidar Elevation Data in Open-Source GIS. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters [online]. 375-379 s. ISSN 1545- 598x. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1522204>

MITÁŠOVÁ, H., HOFIERKA, J. 1993. Interpolation by regularized spline with tension: II. Application to terrain modeling and surface geometry analysis. Mathematical Geology [online]. 657-669 s. ISSN 0882-8121. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/BF00893172>

MITÁŠOVÁ, H., MITÁŠ, L. 1993. Interpolation by regularized spline with tension: I. Theory and implementation. Mathematical Geology [online]. 641-655 s. ISSN 0882- 8121. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/BF00893171>

MOCEK, T., 2017. Laser, supernástroj člověka 21. století. Praha: Academia. 47. s. ISBN 978-80-200-2691-0.

MONTGOMERY, D. R. 2003. Predicting landscape-scale erosion rates using digital elevation models. Comptes Rendus Geoscience [online]. 1121-1130 [cit. 2021-03-20]. ISSN 16310713. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1631071303001986>

MUKHERJEE, S., JOSHI, P.K., MUKHERJEE, S., GHOSH, A., GARG, R.D., MUKHOPADHYAY, A. 2013. Evaluation of vertical accuracy of open source Digital Elevation Model (DEM): An example of the formulation and use of questions, criteria and indicators for evaluation of rural development policies. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 205-217 s. ISSN 03032434. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030324341200195X>

NILSSON, Mats. 1996. Estimation of tree heights and stand volume using an airborne lidar system. *Remote Sensing of Environment* [online]. 1-7 s. [cit. 2021-03-20]. ISSN 00344257. Dostupné z:

[//linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0034425795002243](http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0034425795002243)

PACINA, J., 2017. Využití bezkontaktního sběru prostorových dat pro modelování a sledování změn krajiny. Praha: České vysoké učení technické. 30 s. ISBN 978- 80- 01- 06321-7.

PAŠAKARNIS, G., MALIENE, V., MUKHERJEE, S., a kol. 2010. Towards sustainable rural development in Central and Eastern Europe: Applying land consolidation. *Land Use Policy*. 545-549 s. ISSN 02648377. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0264837709000830>

PETZOLD, B., REISS, P., STÖSSEL, W. 1999. Laser scanning—surveying and mapping agencies are using a new technique for the derivation of digital terrain models. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 95-104 s. ISSN 09242716. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924271699000052>

RABER, G. T., JENSEN, J.R., SCHIL, S.R., SCHUCKMAN, K. 2002. Creation of Digital Terrain Models using an adaptive Lidar vegetation point removal process. *Photogramm. Eng. Rem. Sens.* 1307-1314 s. Dostupné také z: https://www.asprs.org/wpcontent/uploads/pers/2002journal/december/2002_dec_1307-1315.pdf

REUTEBUCH, S. E., ANDERSEN, H.E., McGAUGHEY, R.J. 2005. Light detection and ranging (LIDAR): an emerging tool for multiple resource inventory. *Journal of Forestry*, Dostupné také z: https://www.researchgate.net/publication/233622295_Light_Detection_and_Ranging_LIDAR_An_Emerging_Tool_for_Multiple_Resource_Inventory

ROTTENSTEINER, B. F. 2002. A new method for building extraction in urban areas from high-resolution LIDAR data. *International archives of photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, 295-301 s.

SAEYS, W., LENAERTS, B., CRAESSAERTS, G., BAERDEMAEKER, J., GARG, R.D., MUKHOPADHYAY, A. 2009. Estimation of the crop density of small grains using LiDAR sensors: Applying land consolidation. *Biosystems Engineering*. 22-30 s. ISSN 15375110. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1537511008003012>

SARHADI, A., SOLTANI, S., MODARRES, R., BAERDEMAEKER, J., GARG, R. D., MUKHOPADHYAY, A. 2012. Probabilistic flood inundation mapping of ungauged rivers: Linking GIS techniques and frequency analysis. *Journal of Hydrology*. 68-86 s. ISSN 00221694. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169412005380>

SØRENSEN, R., SEIBERT, J., STAHL, J., BLACK, A., HOFFMANN, L., PFISTER, L. 2007. Effects of DEM resolution on the calculation of topographical indices: TWI and its components. *Journal of Hydrology*. 79-89 s. ISSN 00221694. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169407004830>

SHIMADA, M., MUHTAR, Q., TADONO, T., WAKABAYASHI, H., GONG, P., WALKER, J., P. 2001. Tree height estimation using an airborne L-band polarimetric interferometric SAR: A case study from the Camp Creek Watershed, Missouri. *Scanning the Present and Resolving the Future. Proceedings. International Geoscience and Remote Sensing Symposium (Cat. No.01CH37217)*. IEEE

SCHUMANN, G., MATGEN, P., CUTLER, M. E. J., BLACK, A., HOFFMANN, L., PFISTER, L. 2008. Comparison of remotely sensed water stages from LiDAR, topographic contours and SRTM: Linking GIS techniques and frequency analysis. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2008, 283-296 s. ISSN 09242716. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924271607001256>

SILVÁN-CÁRDENAS, J.L., WANG, L., STÖSSEL, W. 2006. A multi-resolution approach for filtering LiDAR altimetry data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 11-22 s. ISSN 09242716. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924271606000633>

SITHOLE, G. 2005. Segmentation and classification of airborne laser scanner data. 2005. Disertační práce. ITC, University of Delft, The Netherlands.

STREUTKER, D. R., GLENN, N.F. 2006. LiDAR measurement of sagebrush steppe vegetation heights. *Remote Sensing of Environment* [online]. 135-145 s. [cit. 2016-04-03]. ISSN 00344257. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425706000708>

SVATOŇOVÁ, H., 2010. Dálkový průzkum Země- Aktuální zdroj geografických informací. Brno: Masarykova univerzita. 96 s. ISBN 978-80-210-5162-1.

THIEL, K. H., WEHR, A. 2004. Performance and capabilities of laser scanners - an overview and measurement principle analysis. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 14-18 s. Dostupné také z: <https://www.isprs.org/proceedings/xxxvi/8-w2/thiel.pdf>

TURNER, R., PANCIERA, R., TANASE, M. A., LOWELL, K., HACKER, J. M., WALKER, J. P. 2014. Estimation of soil surface roughness of agricultural soils using airborne LiDAR: TWI and its components. Remote Sensing of Environment. 107-117s. ISSN 00344257. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425713002885>

ULANDER, L.M.H., DAMMERT, P. B. G., HAGBERG, J. O., WAKABAYASHI, H., GONG, P., WALKER, J. P. 1995. Measuring tree height using ERS-1 SAR interferometry: Basic physical concepts. 1995 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS '95. Quantitative Remote Sensing for Science and Applications. IEEE, ISBN 0-7803-2567-2. ISSN 09242716. Dostupné také z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=524144>

VÁCHAL, J., DUMBROVSKÝ, M., SKLENIČKA, P., NOVÁK, P., ONDR, P., MAYER, Z. 2013. Metodika hodnocení účinnosti projekce a realizace KPÚ. Praha: VÚMOP. 263 s. IBSN 80-214-2668-3.

VAZE, J., TENG, J., SPENCER, G., LOWELL, K., HACKER, J. M., WALKER, J. P. 2010. Impact of DEM accuracy and resolution on topographic indices: A multidisciplinary approach. Environmental Modelling. 1086-1098 s. ISSN 13648152. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364815210000733>

VOCHOZKA, M., PÁRTLOVÁ, P., MAYER, Z. 2015. Traffic Service Solution for Rural Settlements by Means of Tertiary Country Roads. Naše more, Znanstvenostručni časopis za more i pomorstvo, 2015, Vol.62, No.3 (Special Issue), s.158-164

VOJENSKÝ TOPOGRAFICKÝ ÚSTAV DOBRUŠKA, 2015. Vojenský geografický obzor- sborník geografické služby AČR. Číslo vydání: 1. Praha: Ministerstvo obrany ČR. 70 s. ISSN 1211-0701.

WEBSTER, T. L., DIAS, G., TADONO, T., WAKABAYASHI, H., GONG, P., WALKER, J. P. 2006. An automated GIS procedure for comparing GPS and proximal LIDAR elevations: Basic physical concepts. Computers. IEEE, 713-726 sISSN 00983004. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0098300405001858>

WEHR, A., LOHR, U., TADONO, T., WAKABAYASHI, H., GONG, P., WALKER, J. P. 1999. Airborne laser scanning—an introduction and overview: Basic physical concepts. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. IEEE, 68-82 s. ISBN 0-7803-7031-7. ISSN 09242716. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924271699000118>

WILSON, J. P., LI, J., HUANG, G. H., LOWELL, K., HACKER, J. M., a WALKER, J. P. 2012. Digital terrain modeling: Sensitivity to elevation data resolution. Geomorphology. 107-121 s. ISSN 0169555. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169555X11001449>

WU, S., LI, J., HUANG, G. H., LOWELL, K., HACKER, J. M., WALKER, J. P. 2007. Modeling the effects of elevation data resolution on the performance of topography-based watershed runoff simulation: A multidisciplinary approach. *Environmental Modelling*. 1250-1260 s. ISSN 13648152. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364815206001964>

WU, S., LI, J., HUANG, G. H., LOWELL, K., HACKER, J. M., WALKER, J. P. 2008. A study on DEM-derived primary topographic attributes for hydrologic applications: Sensitivity to elevation data resolution. *Applied Geography*. 210-223 s. ISSN 01436228. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0143622808000143>

YAMAMOTO, K., TAKAHASHI, T., MIYACHI, Y., a kol. 2011. Estimation of mean tree height using small-footprint airborne LiDAR without a digital terrain model. *Journal of Forest Research*. 425-431 s. ISSN 13416979. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10310-010-0234-5>

ZHANG, Q., LUO, H., YAN, J., LOWELL, K., HACKER J. M., WALKER, J. P. 2012. Integrating biodiversity conservation into land consolidation in hilly areas – A case study in southwest China: Sensitivity to elevation data resolution. *Acta Ecologica Sinica*. 274-278 s. ISSN 18722032. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1872203212000418>

ZHANG, Lei, Tony E. GRIFT, Jin-ming YAN, Kim LOWELL, Jorg M. HACKER a Jeffrey P. WALKER. A LIDAR-based crop height measurement system for *Miscanthus giganteus*: Sensitivity to elevation data resolution. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2012, 85(6), 70-76. ISSN 01681699. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168169912000877>

ZIADAT, F.M., GRIFT, T. E., YAN, J., LOWELL, K., HACKER, J. M. WALKER, J. P. 2010. Prediction of Soil Depth from Digital Terrain Data by Integrating Statistical and Visual Approaches: Sensitivity to elevation data resolution. *Pedosphere*. 361-367 s. ISSN 10020160. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1002016010600252>

6..2 Internetové zdroje

ČÚZK, 2021. Český úřad zeměměřický a katastrální [online]. Cit. 27.1.2021. Dostupné online z: <https://www.cuzk.cz/>

ČÚZK, 2016. Technická zpráva DMP 1G. [online]. Cit. 27.1.2021. Dostupné online z: https://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA_ZPRAVA_DMP_1G.pdf

ČÚZK, 2016. Technická zpráva DMR 4G. [online]. Cit. 27.1.2021. Dostupné online z: https://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA_ZPRAVA_DMR_4G.pdf

ČÚZK, 2016. Technická zpráva DMR 4G. [online]. Cit. 27.1.2021. Dostupné online z: https://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA_ZPRAVA_DMR_5G.pdf

7. Seznam obrázků

Obrázek č. 1- Trimble R 4-2	32
Obrázek č. 2- Trimble S8 HD	33
Obrázek č. 3- Odrazný hranol Tromble, $k=-30\text{mm}$	33

8. Seznam map

mapa č. 1- Přehledná mapa zkoumaného území	28
mapa č. 2- Znárodnění porostů	29
mapa č. 3- Přehledná situace bodového pole a podélných profilů.....	31
mapa č. 4- 3D vizualizace geodeticky zaměřené cyklostezky. V pozadí DMR 4G... 38	
mapa č. 5- 3D modely DMR 4G (dole) a vrstevnic ZABAGED (nahore).	41
mapa č. 6- Rastr podrobných bodů (nahore), DMR 4G (dole).	42
mapa č. 7- Zaměřené podrobné body	45

9. Seznam tabulek

Tabulka č. 1- Hodnotící kritéria.	43
Tabulka č. 2- Absolutní výšky a výškový rozdíl jednotlivých DMR	48
Tabulka č. 3- Hodnotící kritéria.	50
Tabulka č. 4- Absolutní výšky a výškový rozdíl jednotlivých DMR	52
Tabulka č. 5- Hodnotící kritéria.	54
Tabulka č. 6- Absolutní výšky a výškový rozdíl jednotlivých DMR	55
Tabulka č. 7- Hodnotící kritéria.	57
Tabulka č. 8- Absolutní výšky a výškový rozdíl trig. a zhušť. bodů.	57

10. Seznam grafů

Graf č. 1- Porovnání DMP 1G s terénem- podélný profil č. 1	47
Graf č. 2- Výškový rozdíl mezi skutečným zaměřením a DMR 4 a 5G.	49
Graf č. 3- Porovnání DMP 1G s terénem- podélný profil č. 2	51
Graf č. 4- Výškový rozdíl mezi skutečným zaměřením a DMR 4 a 5G.	53
Graf č. 5- Porovnání DMP 1G s terénem- podélný profil č. 3	55
Graf č. 6- Výškový rozdíl mezi skutečným zaměřením a DMR 4 a 5G.	56

11. Seznam příloh

Příloha č. 1- Seznam souřadnic, výšek a výškových rozdílů	82
Příloha č. 2- Geodetické údaje	85
Příloha č. 3- Ukázka protokolu GPS	87
Příloha č. 4- Zápisník polygonu 4001-4006.....	88
Příloha č. 5- Vyrovnání polygonu 4001-4006.....	89
Příloha č. 6- Ukázka zápisníku měření bodů 1-185	92
Příloha č. 7- Ukázka výpočtu podrobných bodů 1-185.....	94

12. Přílohy

Příloha č. 1- Seznam souřadnic, výšek a výškových rozdílů

Porovnání 4G modelu a vrstevnic ZABAGED								
číslo bodu	absolutní výšky			otevřený=terén=0	souřadnice bodů		výškový rozdíl	
	skut. stav	DMR 4G	vrstevnice	zavřený terén=20	Y	X	DMR 4G	vrstevnice
1	418,61	418,04	418,53	0	-754950,84	-1150619,98	-0,57	-0,08
2	418,15	417,92	418,37	0	-754947,41	-1150629,38	-0,23	0,22
3	418,17	417,84	418,29	0	-754946,26	-1150631,79	-0,33	0,12
4	418,30	417,84	418,26	0	-754945,89	-1150632,86	-0,46	-0,04
5	418,12	417,84	418,10	0	-754941,86	-1150640,87	-0,28	-0,02
7	419,28	419,07	419,48	0	-754928,53	-1150620,73	-0,21	0,20
8	419,29	419,07	419,43	0	-754928,21	-1150621,39	-0,22	0,14
9	419,26	418,79	419,32	0	-754927,17	-1150623,84	-0,47	0,06
10	419,11	418,79	419,24	0	-754926,74	-1150624,96	-0,32	0,13
11	419,74	419,38	419,73	0	-754911,06	-1150609,53	-0,36	-0,01
12	419,62	419,38	419,68	0	-754910,61	-1150610,30	-0,24	0,06
13	419,60	419,19	419,54	0	-754908,81	-1150612,43	-0,41	-0,06
14	419,50	419,19	419,48	0	-754908,22	-1150613,47	-0,31	-0,02
15	420,11	419,94	420,30	0	-754898,95	-1150588,13	-0,17	0,19
16	419,68	419,36	419,77	0	-754892,73	-1150593,56	-0,32	0,09
17	419,18	419,36	419,55	0	-754890,55	-1150595,58	0,18	0,37
18	419,10	418,46	419,34	0	-754888,70	-1150597,49	-0,64	0,24
19	418,96	418,46	419,23	0	-754887,97	-1150598,46	-0,50	0,27
20	418,36	418,00	418,57	0	-754883,19	-1150605,57	-0,36	0,21
21	419,58	418,86	419,42	0	-754879,45	-1150581,15	-0,72	-0,16
22	418,72	418,58	418,96	0	-754876,76	-1150583,49	-0,14	0,24
23	418,62	418,04	418,60	0	-754874,88	-1150585,53	-0,58	-0,02
24	418,36	418,04	418,37	0	-754873,83	-1150586,41	-0,32	0,01
25	418,82	418,50	418,63	20	-754867,34	-1150564,15	-0,32	-0,19
26	417,78	417,56	417,88	0	-754863,65	-1150565,95	-0,22	0,10
27	417,71	417,46	417,55	0	-754861,38	-1150567,32	-0,25	-0,16
28	417,57	416,77	417,29	0	-754859,48	-1150568,12	-0,80	-0,28
29	419,67	419,26	419,13	0	-754863,73	-1150545,58	-0,41	-0,54
30	419,22	418,49	417,67	20	-754856,38	-1150541,02	-0,73	-1,55
31	416,79	417,20	417,02	20	-754851,69	-1150543,41	0,41	0,23
32	416,70	416,40	416,74	20	-754849,36	-1150544,74	-0,30	0,04
33	416,51	416,40	416,59	20	-754848,67	-1150544,98	-0,11	0,08
34	415,81	415,31	415,57	0	-754840,43	-1150548,43	-0,50	-0,24
35	415,39	416,99	415,55	20	-754840,62	-1150520,08	1,60	0,16
36	415,34	415,74	415,29	20	-754838,01	-1150520,86	0,40	-0,05
37	415,31	415,74	415,14	20	-754837,01	-1150521,13	0,43	-0,17
38	418,23	416,99	417,03	20	-754845,30	-1150517,39	-1,24	-1,20
39	417,16	416,03	415,78	20	-754839,95	-1150501,36	-1,13	-1,38
40	414,11	414,34	414,62	20	-754834,24	-1150503,69	0,23	0,51
41	414,01	414,34	414,21	20	-754831,58	-1150504,45	0,33	0,20
42	413,93	414,34	414,03	20	-754830,79	-1150504,79	0,41	0,10
43	412,51	412,48	412,78	20	-754828,31	-1150487,06	-0,03	0,27
44	412,47	412,48	412,31	20	-754825,78	-1150487,92	0,01	-0,16
45	412,37	411,54	412,18	20	-754825,14	-1150488,23	-0,83	-0,19
46	411,21	411,15	411,19	20	-754824,75	-1150473,40	-0,06	-0,02
47	411,15	411,15	410,61	20	-754822,17	-1150474,02	0,00	-0,54
48	411,58	411,15	410,32	20	-754820,71	-1150474,32	-0,43	-1,26
49	409,96	409,75	409,10	20	-754813,57	-1150476,34	-0,21	-0,86
50	409,25	409,50	409,30	20	-754822,51	-1150457,29	0,25	0,05
51	409,16	408,65	408,75	20	-754819,79	-1150457,16	-0,51	-0,41
52	409,73	408,65	408,29	20	-754818,13	-1150457,22	-1,08	-1,44
53	416,65	417,03	416,05	0	-754840,70	-1150476,37	0,38	-0,60
54	414,82	415,00	414,42	0	-754837,75	-1150457,77	0,18	-0,40
55	412,86	413,39	412,21	0	-754836,29	-1150438,28	0,53	-0,65

56	411,68	411,65	410,79	0	-754839,60	-1150417,20	-0,03	-0,89
57	408,43	408,99	408,41	20	-754822,07	-1150449,89	0,56	-0,02
58	408,38	407,51	407,88	20	-754819,43	-1150449,99	-0,87	-0,50
59	408,74	407,51	407,46	20	-754817,94	-1150449,99	-1,23	-1,28
60	405,85	406,84	405,56	20	-754822,47	-1150424,74	0,99	-0,29
61	405,79	404,84	405,14	20	-754819,75	-1150424,29	-0,95	-0,65
62	405,99	404,84	404,74	20	-754817,40	-1150424,14	-1,15	-1,25
63	404,02	404,72	404,18	20	-754824,11	-1150402,40	0,70	0,16
64	404,00	404,72	403,69	20	-754821,37	-1150402,38	0,72	-0,31
65	403,88	403,59	403,47	20	-754820,24	-1150402,33	-0,29	-0,41
66	403,12	403,40	402,43	20	-754810,49	-1150401,88	0,28	-0,69
67	402,66	403,69	402,94	20	-754825,83	-1150380,52	1,03	0,28
68	402,62	402,38	402,57	20	-754823,14	-1150380,23	-0,24	-0,05
69	402,56	402,38	402,25	20	-754821,87	-1150380,26	-0,18	-0,31
70	408,24	407,94	406,44	0	-754836,52	-1150390,38	-0,30	-1,80
71	407,55	407,04	406,42	0	-754838,74	-1150380,50	-0,51	-1,13
72	401,56	402,67	401,49	20	-754826,96	-1150363,42	1,11	-0,07
73	401,48	401,63	401,18	20	-754824,25	-1150363,24	0,15	-0,30
74	401,38	401,63	401,08	20	-754823,17	-1150363,22	0,25	-0,30
75	400,98	401,29	400,42	0	-754817,26	-1150361,73	0,31	-0,56
76	400,27	399,91	400,06	20	-754828,93	-1150335,46	-0,36	-0,21
77	400,17	399,91	399,65	20	-754826,31	-1150335,26	-0,26	-0,52
78	400,02	399,91	399,51	20	-754825,55	-1150335,12	-0,11	-0,51
79	399,41	400,34	399,21	20	-754830,47	-1150316,85	0,93	-0,20
80	399,36	399,46	398,84	20	-754827,69	-1150316,61	0,10	-0,52
81	399,24	399,15	398,64	20	-754826,81	-1150316,44	-0,09	-0,60
82	404,43	404,32	404,17	0	-754847,15	-1150333,51	-0,11	-0,26
83	405,72	405,82	405,37	0	-754846,12	-1150349,78	0,10	-0,35
84	406,81	407,00	406,46	0	-754845,31	-1150362,18	0,19	-0,35
85	408,44	408,41	407,88	0	-754842,69	-1150384,33	-0,03	-0,56
86	398,96	399,12	398,85	20	-754831,31	-1150305,94	0,16	-0,11
87	398,91	398,49	398,51	20	-754828,56	-1150305,97	-0,42	-0,40
88	398,79	398,49	398,31	20	-754827,75	-1150305,38	-0,30	-0,48
89	398,42	398,99	398,38	20	-754832,23	-1150287,85	0,57	-0,04
90	398,40	398,26	398,05	20	-754829,54	-1150287,70	-0,14	-0,35
91	398,24	398,26	397,80	20	-754828,44	-1150287,53	0,02	-0,44
92	397,83	397,64	397,47	20	-754834,01	-1150269,08	-0,19	-0,36
93	397,81	397,64	397,17	20	-754831,38	-1150268,66	-0,17	-0,64
94	397,71	397,36	396,99	20	-754830,33	-1150268,38	-0,35	-0,72
95	397,17	397,33	397,19	20	-754834,58	-1150247,87	0,16	0,02
96	397,12	397,33	396,74	20	-754831,84	-1150247,79	0,21	-0,38
97	397,10	397,33	396,54	20	-754831,05	-1150247,75	0,23	-0,56
98	396,12	396,39	395,91	0	-754812,90	-1150286,02	0,27	-0,21
99	395,29	395,78	395,07	0	-754810,49	-1150270,42	0,49	-0,22
100	394,39	394,50	394,18	0	-754808,61	-1150248,19	0,11	-0,21
101	393,49	393,35	393,32	0	-754807,05	-1150230,72	-0,14	-0,17
102	392,88	392,89	392,56	0	-754807,09	-1150215,50	0,01	-0,32
103	394,67	394,63	394,26	20	-754821,55	-1150217,48	-0,04	-0,41
104	393,80	394,03	393,96	20	-754819,28	-1150217,12	0,23	0,16
105	395,30	395,14	394,82	20	-754828,17	-1150217,23	-0,16	-0,48
106	395,39	395,14	395,04	20	-754829,13	-1150217,14	-0,25	-0,35
107	395,45	395,52	395,32	20	-754831,88	-1150216,91	0,07	-0,13
108	399,20	398,09	397,61	20	-754841,02	-1150222,32	-1,11	-1,59
109	400,00	399,73	398,70	20	-754841,90	-1150237,60	-0,27	-1,30
110	398,25	396,87	396,31	20	-754838,53	-1150209,77	-1,38	-1,94
111	396,48	396,71	396,23	20	-754833,68	-1150232,88	0,23	-0,25
112	396,35	396,71	395,71	20	-754830,93	-1150232,68	0,36	-0,64
113	396,10	396,11	395,47	20	-754829,45	-1150232,37	0,01	-0,63
114	394,17	394,05	393,73	20	-754826,25	-1150200,03	-0,12	-0,44
115	394,26	394,05	393,86	20	-754826,95	-1150199,95	-0,21	-0,40
116	394,33	394,05	394,20	20	-754829,64	-1150199,53	-0,28	-0,13
117	393,28	392,97	393,18	20	-754828,62	-1150180,23	-0,31	-0,10
118	393,23	392,97	392,89	20	-754825,90	-1150180,27	-0,26	-0,34
119	393,15	392,57	392,68	20	-754825,01	-1150180,12	-0,58	-0,47
120	392,31	392,26	392,22	20	-754827,86	-1150159,18	-0,05	-0,09
121	392,19	391,93	391,86	20	-754825,14	-1150159,22	-0,26	-0,33
122	391,99	391,93	391,62	20	-754824,12	-1150159,11	-0,06	-0,37
123	388,43	388,45	388,79	20	-754825,03	-1150090,23	0,02	0,36
124	388,51	388,45	388,69	20	-754822,41	-1150090,95	-0,06	0,18
125	388,85	388,45	388,58	0	-754821,00	-1150091,04	-0,40	-0,27

126	388,62	388,61	388,31	0	-754813,10	-1150092,61	-0,01	-0,31
127	389,41	389,32	389,21	0	-754818,18	-1150107,82	-0,09	-0,20
128	389,62	389,46	389,47	0	-754822,84	-1150108,04	-0,16	-0,15
129	389,60	389,46	389,60	0	-754824,98	-1150107,95	-0,14	0,00
130	389,64	389,77	389,77	20	-754827,70	-1150107,79	0,13	0,13
131	390,57	390,35	390,03	20	-754830,70	-1150108,17	-0,22	-0,54
132	390,81	390,58	390,80	0	-754828,27	-1150125,62	-0,23	-0,01
133	390,82	390,58	390,50	0	-754825,57	-1150125,58	-0,24	-0,32
134	390,64	390,28	390,39	0	-754823,96	-1150125,26	-0,36	-0,25
135	390,18	390,16	389,93	0	-754816,68	-1150124,54	-0,02	-0,25
136	390,89	390,67	390,37	0	-754816,78	-1150137,60	-0,22	-0,52
137	390,66	390,67	390,40	0	-754817,73	-1150137,53	0,01	-0,26
138	391,05	390,67	390,49	0	-754818,76	-1150137,89	-0,38	-0,56
139	391,35	391,07	390,88	0	-754824,39	-1150137,45	-0,28	-0,47
140	391,44	391,07	390,96	0	-754825,22	-1150137,75	-0,37	-0,48
141	391,58	391,30	391,24	0	-754828,44	-1150137,94	-0,28	-0,34
142	392,26	392,22	391,93	20	-754836,42	-1150136,95	-0,04	-0,33
143	393,31	391,91	391,96	20	-754837,17	-1150132,04	-1,40	-1,35
144	392,13	391,62	391,87	20	-754834,18	-1150140,48	-0,51	-0,26
145	392,96	391,92	392,06	20	-754832,68	-1150145,81	-1,04	-0,90
146	391,24	391,49	391,55	20	-754829,61	-1150143,87	0,25	0,31
147	390,98	391,25	391,44	0	-754832,02	-1150133,21	0,27	0,46
148	389,41	388,61	388,73	20	-754828,57	-1150085,94	-0,80	-0,68
149	388,98	388,31	388,24	20	-754827,95	-1150080,17	-0,67	-0,74
150	388,56	387,55	387,28	20	-754826,33	-1150067,98	-1,01	-1,28
151	387,92	386,84	386,48	20	-754825,84	-1150059,80	-1,08	-1,44
152	385,62	385,37	385,83	20	-754817,69	-1150061,18	-0,25	0,21
153	385,78	386,33	385,84	20	-754815,02	-1150062,29	0,55	0,06
154	386,53	386,33	385,77	20	-754813,35	-1150062,73	-0,20	-0,76
155	383,24	383,37	383,37	20	-754812,43	-1150044,62	0,13	0,13
156	383,39	383,40	383,24	20	-754809,57	-1150045,14	0,01	-0,15
157	383,69	383,40	383,14	20	-754808,35	-1150045,52	-0,29	-0,55
158	381,00	381,03	381,18	0	-754809,27	-1150024,01	0,03	0,18
159	381,10	381,03	381,06	0	-754806,50	-1150024,37	-0,07	-0,04
160	381,00	381,00	380,97	20	-754804,98	-1150024,36	0,00	-0,03
161	387,66	387,69	387,93	20	-754822,97	-1150079,33	0,03	0,27
162	387,69	387,63	387,80	20	-754820,18	-1150079,70	-0,06	0,11
163	388,09	387,63	387,68	20	-754819,05	-1150079,68	-0,46	-0,41
164	383,24	383,93	383,67	0	-754812,34	-1149900,25	0,69	0,43
165	383,33	383,27	383,44	0	-754809,27	-1149899,92	-0,06	0,11
166	383,18	383,27	383,36	0	-754808,31	-1149899,90	0,09	0,18
167	382,36	382,36	383,20	0	-754813,55	-1149917,21	0,00	0,84
168	382,30	382,23	382,95	0	-754810,44	-1149917,19	-0,07	0,65
169	383,20	382,23	382,84	0	-754808,35	-1149917,20	-0,97	-0,36
170	380,66	380,68	381,64	0	-754810,38	-1149935,99	0,02	0,98
171	380,67	380,68	381,73	0	-754807,77	-1149935,71	0,01	1,06
172	382,12	380,96	381,89	0	-754804,93	-1149935,09	-1,16	-0,23
173	379,78	379,70	380,00	0	-754807,63	-1149954,15	-0,08	0,22
174	379,78	379,71	380,00	0	-754805,22	-1149954,42	-0,07	0,22
175	379,66	379,71	379,97	0	-754803,50	-1149954,81	0,05	0,31
176	379,40	379,71	379,93	0	-754802,42	-1149955,34	0,31	0,53
177	379,62	378,36	378,22	0	-754808,29	-1149974,83	-1,26	-1,40
178	379,58	378,32	378,18	0	-754805,18	-1149974,96	-1,26	-1,40
179	380,02	379,55	378,99	0	-754808,59	-1149998,05	-0,47	-1,03
180	379,93	379,69	379,19	0	-754811,52	-1149997,27	-0,24	-0,74
181	379,93	379,55	378,58	0	-754805,52	-1149998,44	-0,38	-1,35
182	380,46	380,21	380,47	0	-754808,80	-1150012,38	-0,25	0,01
183	380,26	380,21	380,55	0	-754810,03	-1150012,62	-0,05	0,29
184	380,49	380,21	380,40	0	-754805,95	-1150013,25	-0,28	-0,09
185	380,55	380,43	380,29	0	-754804,77	-1150013,52	-0,12	-0,26

Příloha č. 2- Geodetické údaje

GEODETIKÉ ÚDAJE						
trigonometrického bodu						
Kraj: Jihočeský kraj		Okres: České Budějovice		List č.: 1/1		Vytvořeno pro web 07.04.2021
Obec: Hluboká nad Vltavou		Stav k: 2008		TL	4001	
				ZM-50	22-44	
				SMO-5	110615	
Číslo a název bodu		3 U hrádku		3		
Bod	Druh	Y	X	Nadmořská výška		
				Bpv	vztahuje se na	
3	TB	754890.03	1150514.57	gps. 424.27	hranol	
ETRS-89		B	L	Helips	STATIC	
3		49 06 54.1603	14 27 29.0066	470.31		
Orientace na body (ve stupních)						
Číslo		Jižník	Délka strany	Číslo	Jižník	Délka strany
217	/3005/	210 29 53.5	3011.263			
<p>Místopisný popis: Bod je 1,7 km jižně od kostela v Purkarcí, ve svahu mírného návrší, 50 m západně od cesty z Purkarcí na zříceninu Karlova hrádku.</p>						
Bod	3					
Stab. údaje		0,00	žula 20.20.79	0,00	0,00	0,00
		.99	žula 30.30.15			
		1.19	šamot 10.10.1			
Označ. povrch. znaky na boku:	1951 j.					
Ochranný znak: (druh, rok)	OT-1962, OSK-1998					
Kat. území: Parc.čís.: Druh poz.:	Purkarec 731/6					
Druh a výška signál. stavby nebo nárys trvalého cíle:					Poznámky:	
 Signálizace z roku:						

GEODETICKÉ ÚDAJE

zhušřovacího bodu

Kraj: Jihočeský kraj
 Okres: České Budějovice
 Obec: Hluboká nad Vltavou

List č.: 1/1
 Stav k: 1998

Vytvořeno pro web 07.04.2021

TL	3005
ZM-50	22-44
SMO-5	110624

Číslo a název bodu		232	Pod dubím				
Bod	Druh	Y	X	Nadmořská výška			
				Bpv	vztahuje se na		
232	ZHB	755001.39	1149703.82	392.15	hranol		
ETRS-89		B	L	Helips			
232		49 07 19.6731	14 27 18.1354	438.14	STATIC		
Orientace na body (v gradech) :							
Bod číslo :		Jižník	Delka strany	Bod číslo :		Jižník	Delka strany
228		193.12711	799.354				

Místopisný popis : Bod je asi 0.8 km jižně od kostela v obci Purkarec u rohu ohrady. Bod určen metodou GPS.

Bod určen : 232 - GPS,

Bod	232					
Stab. údaje	0,00	žula 16x16x58	0,00		0,00	
	.74	žula 20x20x5				
Ochranný znak: (druh,rok)	OT-1997					
Kat.území Parc.čís.	Purkarec 706					

Bod	232					
Rok Organizace, rok	Zřízení	1997 KÚ ČB				
	Určení YX	1998				
	Určení výšky	1998				
	[Pře]Stabilizace	1997				
	Údržba	1998				
Obnova						
Poznámka :						

Příloha č. 3- Ukázka protokolu GPS

POUZITE A MERENE BODY

Cislo bodu	Y	X	Z	Presnost	PDOP	Sit*	Pocet	Antena	Datum	Zacatek	Doba	Kod b.	
													XY
940130330.1	754890.03	1150514.61	424.25	0.008	0.015	1.63	1 VRS	12	2.00 SZ	20.03	12:49	10	OR
940130330.2	754890.02	1150514.59	424.26	0.015	0.021	2.50	1 VRS	9	2.00 SZ	20.03	14:42	10	OR
930052320.1	755001.28	1149703.77	392.11	0.020	0.031	2.41	1 VRS	8	1.40 SZ	20.03	15:04	10	OR
930052320.2	755001.30	1149703.77	392.10	0.020	0.031	2.41	1 VRS	8	1.40 SZ	20.03	16:11	10	OR
4501.1	754945.61	1150631.43	418.23	0.013	0.021	3.35	1 VRS	8	2.00 SZ	20.03	14:31	10	OR
4501.2	754945.61	1150631.42	418.23	0.014	0.022	2.07	1 VRS	10	2.00 SZ	20.03	15:50	10	OR
4502.1	754882.55	1150598.21	418.54	0.009	0.018	1.95	1 VRS	11	2.00 SZ	20.03	13:03	10	OR
4502.2	754882.55	1150598.20	418.55	0.016	0.022	2.53	1 VRS	9	2.00 SZ	20.03	14:44	13	OR
4503.1	754786.31	1150136.98	388.03	0.011	0.017	2.20	1 VRS	9	2.00 SZ	20.03	14:25	10	OR
4503.2	754786.32	1150136.97	388.01	0.015	0.024	2.03	1 VRS	10	2.00 SZ	20.03	15:46	10	OR
4504.1	754805.92	1150006.45	380.27	0.014	0.023	2.93	1 VRS	7	2.00 SZ	20.03	14:13	10	OR
4504.2	754805.93	1150006.46	380.23	0.018	0.027	1.99	1 VRS	10	2.00 SZ	20.03	15:43	10	OR
4505.1	754810.27	1149895.66	383.43	0.019	0.031	1.97	1 VRS	10	2.00 SZ	20.03	15:40	10	OR
4505.2	754810.31	1149895.66	383.43	0.019	0.031	1.97	1 VRS	10	2.00 SZ	20.03	16:43	10	OR

PRUMEROVANI BODU

Cislo bodu	Y	X	Z	dY	dX	dZ
940130330.1	754890.03	1150514.61	424.25	0.00	-0.01	0.01
940130330.2	754890.02	1150514.59	424.26	0.01	0.01	0.00
940130330	754890.03	1150514.60	424.26	Cas.odstup: 0dnu,1:53:6		
930052320.1	755001.28	1149703.77	392.11	0.01	0,00	0,00
930052320.1	755001.30	1149703.77	392.10	-0,01	0,00	-0,01
930052320	755001.29	1149703.77	392.11	Cas.odstup: 0dnu,1:07:17		

4501.1 754945.61 1150631.43 418.23 0.00 -0.01 0.00

4501.2 754945.61 1150631.42 418.23 0.00 0.00 0.00

4501 754945.61 1150631.42 418.23 Cas.odstup:0dnu,1:19:44

4502.1 754882.55 1150598.21 418.54 0.00 0.00 0.01

4502.2 754882.55 1150598.20 418.55 0.00 0.01 0.00

ZPRUMEROVANE BODY

Cislo bodu Y X Z Kod

940130330 754890.03 1150514.60 424.26 OR
4501 754945.61 1150631.42 418.23 OR
4502 754882.55 1150598.21 418.55 OR
4503 754786.32 1150136.98 388.02 OR
4504 754805.93 1150006.46 380.25 OR
4505 754810.29 1149895.66 383.43 OR

Příloha č. 4- Zápisník polygonu 4001-4006

SEZNAM MĚŘENÍ

=====

Název souboru	:	4001-4006
Vytvořen dne	:	Pátek 9.4.2021 15:57
Měřítkový koeficient:	:	0.000000000000
Teplota	:	0.0
Tlak	:	0.0
Součtová konstanta	:	0.000

Bod	Hz	Z	Vod. d.	dH	Signál	Popis

4502*					0.00	OR
940130330-	0.0000	95.6906	83.93	5.69	0.00	OR
4501-	274.8058	100.2800	71.28	-0.31	0.00	OR
4001-	39.1767	102.2099	85.88	-2.98	0.00	OR

4001*					0.00	OR
4502-	0.0000	97.7901	85.88	2.98	0.00	OR
4002-	183.7516	105.9212	74.21	-6.92	0.00	OR

4002*					0.00	OR
4001-	0.0000	94.0788	74.21	6.92	0.00	OR
4003-	179.2788	104.8729	99.13	-7.60	0.00	OR

4003*					0.00	OR

4002-	0.0000	95.1271	99.13	7.60	0.00	OR
4004-	198.5083	102.3624	115.11	-4.27	0.00	OR

4004*					0.00	OR
4003-	0.0000	97.6376	115.11	4.27	0.00	OR
4005-	210.3107	103.3366	103.09	-5.41	0.00	OR

4005*					0.00	OR
4004-	0.0000	96.6634	103.09	5.41	0.00	OR
4006-	199.4521	104.0405	49.63	-3.15	0.00	OR
4503-	296.2820	105.4168	39.14	-3.34	0.00	OR

4006*					0.00	OR
4005-	0.0000	95.9595	49.63	3.15	0.00	OR
4503-	356.2917	100.1913	61.65	-0.19	0.00	OR
4504-	207.6117	106.2023	81.59	-7.97	0.00	OR

4504*					0.00	OR
4505-	0.0000	98.1583	110.90	3.21	0.00	OR
4006-	214.8817	93.7977	81.59	7.97	0.00	OR

Příloha č. 5- Vyrovnání polygonu 4001-4006

POLYGONOVÝ POŘAD

=====

Orientace osnovy na bodě 4502:

Bod	Y	X	Z
4502	754882.55	1150598.21	418.55

Orientace:

Bod	Y	X	Z
940130330	754890.03	1150514.60	424.26
4501	754945.61	1150631.42	418.23

Bod	Hz	Směrník	V or.	Délka	V délky	V přev.
m0 Red.						

940130330	0.0000	194.3197	-0.0077	83.93	0.01	-0.02
4501	274.8058	69.1410	0.0077	71.28	-0.01	0.01

Orientační posun : 194.3274g
m0 = SQRT([vv]/(n-1)) : 0.0109g
SQRT([vv]/(n*(n-1))) : 0.0077g

Orientace osnovy na bodě 4504:

Bod	Y	X	Z
4504	754805.93	1150006.46	380.25

Orientace:

Bod	Y	X	Z
4505	754810.29	1149895.66	383.43

m0 Red.	Bod	Hz	Směrník	V or.	Délka	V délky	V přev.
	4505	0.0000	197.4962	0.0000	110.90	-0.01	0.03

Orientační posun : 197.4962g

Naměřené hodnoty:

Bod	S zpět Směrník	S vpřed D vpřed	Úhel D zpět	V úhlu D Dp - Dz
4502	194.3274 0.0000 233.4992	39.1767 85.88	39.1767 85.88	-0.0049 85.88 0.00
4001	0.0000 217.2459	183.7516 74.21	183.7516 74.21	-0.0049 74.21 0.00
4002	0.0000 196.5198	179.2788 99.13	179.2788 99.13	-0.0049 99.13 0.00
4003	0.0000 195.0231	198.5083 115.11	198.5083 115.11	-0.0049 115.11 0.00
4004	0.0000 205.3289	210.3107 103.09	210.3107 103.09	-0.0049 103.09 0.00
4005	0.0000 204.7760	199.4521 49.63	199.4521 49.63	-0.0049 49.63 0.00
4006	0.0000 212.3828	207.6117 81.59	207.6117 81.59	-0.0049 81.59 0.00
4504	214.8817 197.4962	0.0000	185.1183	-0.0049

Parametry polygonového pořadu:

Typ pořadu : Vetknutý, oboustranně orientovaný
 Délka pořadu : 608.64m
 Úhlová odchylka : -0.0396g
 Odchylka Y/X : 0.07m / 0.02m
 Polohová odchylka : 0.08m
 Největší / nejmenší délka v pořadu : 115.11m/ 49.63m
 Poměr největší / nejmenší délka : 1:2.32
 Max. poměr sousedních délek : 1:2.08
 Nejmenší vrcholový úhel : 179.2788g

Vypočtené body:

Bod	Y	X
4001	754839.45	1150523.95
4002	754819.60	1150452.45
4003	754825.02	1150353.47
4004	754834.02	1150238.71
4005	754825.41	1150135.99
4006	754821.69	1150086.50

VÝŠKOVÝ VÝPOČET POLYGONOVÉHO POŘADU

dH	Bod1 V dH	Bod2	Z tam	Z zpět	dH tam	dH zpět	
2.98	4502 0.00	4001	102.2099	97.7901	-2.98	-2.98	-
6.92	4001 0.00	4002	105.9212	94.0788	-6.92	-6.92	-
7.60	4002 0.00	4003	104.8729	95.1271	-7.60	-7.60	-
4.27	4003 0.00	4004	102.3624	97.6376	-4.27	-4.27	-
5.41	4004 0.00	4005	103.3366	96.6634	-5.41	-5.41	-
3.15	4005 0.00	4006	104.0405	95.9595	-3.15	-3.15	-
7.97	4006 0.00	4504	106.2023	93.7977	-7.97	-7.97	-

Výškový uzávěr: 0.02

Výškové vyrovnání

Bod1	Bod2	dH	dH vyr	V dH
4502	4001	-2.98	-2.98	0.00
4001	4002	-6.92	-6.92	0.00
4002	4003	-7.60	-7.60	0.00
4003	4004	-4.27	-4.27	0.00
4004	4005	-5.41	-5.40	0.00
4005	4006	-3.15	-3.15	0.00
4006	4504	-7.97	-7.97	0.00

Vypočtené výšky:

Bod	Výška
4001	415.57
4002	408.65
4003	401.05
4004	396.78
4005	391.37
4006	388.22
4504	380.25

Test polygonového pořadu:

Typ testu polygonového pořadu: Pomocné body
Úhlová odchylka [g] : Skutečná hodnota: -0.0396, Mezní hodnota: 0.0632
Polohová odchylka [m] : Skutečná hodnota: 0.08, Mezní hodnota: 0.40
Mezní délka pořadu [m] : Skutečná hodnota: 608.64, Mezní hodnota: 2000.00

Mezní odchylky stanovené pro práci v katastru nemovitostí byly dodrženy.
Geometrické parametry stanovené pro práci v katastru nemovitostí byly dodrženy.

SEZNAM MĚŘENÍ

=====

Název souboru : 4001-4006
Vytvořen dne : Pátek 9.4.2021 15:57
Měřitkový koeficient: 0.000000000000

Teplota : 0.0
 Tlak : 0.0
 Součtová konstanta : 0.000

Bod	Hz	Z	Vod. d.	dH	Signál	Popis

4502*					0.00	OR
940130330-	0.0000	95.6906	83.93	5.69	0.00	OR
4501-	274.8058	100.2800	71.28	-0.31	0.00	OR
4001-	39.1767	102.2099	85.88	-2.98	0.00	OR

4001*					0.00	OR
4502-	0.0000	97.7901	85.88	2.98	0.00	OR
4002-	183.7516	105.9212	74.21	-6.92	0.00	OR

4002*					0.00	OR
4001-	0.0000	94.0788	74.21	6.92	0.00	OR
4003-	179.2788	104.8729	99.13	-7.60	0.00	OR

4003*					0.00	OR
4002-	0.0000	95.1271	99.13	7.60	0.00	OR
4004-	198.5083	102.3624	115.11	-4.27	0.00	OR

4004*					0.00	OR
4003-	0.0000	97.6376	115.11	4.27	0.00	OR
4005-	210.3107	103.3366	103.09	-5.41	0.00	OR

4005*					0.00	OR
4004-	0.0000	96.6634	103.09	5.41	0.00	OR
4006-	199.4521	104.0405	49.63	-3.15	0.00	OR
4503-	296.2820	105.4168	39.14	-3.34	0.00	OR

4006*					0.00	OR
4005-	0.0000	95.9595	49.63	3.15	0.00	OR
4503-	356.2917	100.1913	61.65	-0.19	0.00	OR
4504-	207.6117	106.2023	81.59	-7.97	0.00	OR

4504*					0.00	OR
4505-	0.0000	98.1583	110.90	3.21	0.00	OR
4006-	214.8817	93.7977	81.59	7.97	0.00	OR

Příloha č. 6- Ukázka zápisníku měření bodů 1-185

SEZNAM MĚŘENÍ

=====

Název souboru : F:\diplomka\VÝPOČTY\PODROBNÝ_BODY\ZÁPISNÍK_PODR_1-185.mes
 Vytvořen dne : Pátek 9.4.2021 16:06
 Měřítkový koeficient: 0.000000000000
 Teplota : 0.0
 Tlak : 0.0
 Součtová konstanta : 0.000

Bod	Hz	Z	Vod. d.	dH	Signál	Popis

4502*					0.00	OR
940130330-	0.0000	95.6906	83.93	5.69	0.00	OR

4501-	274.8058	100.2800	71.28	-0.31	0.00	OR
4001-	39.1767	102.2099	85.88	-2.98	0.00	OR
1	286.0372	99.9459	71.67	0.06	0.00	L
2	277.1592	100.3550	71.96	-0.40	0.00	A
3	274.7986	100.3335	72.02	-0.38	0.00	A
4	273.8172	100.2237	72.20	-0.25	0.00	P
5	265.9873	100.3771	73.06	-0.43	0.00	PP
6	285.3438	99.8917	70.30	0.12	0.00	LL
7	276.6821	99.0936	51.20	0.73	0.00	L
8	275.7703	99.0777	51.21	0.74	0.00	A
9	272.4896	99.1239	51.46	0.71	0.00	A
10	271.0243	99.3110	51.66	0.56	0.00	P
11	281.6247	97.5363	30.67	1.19	0.00	L
12	279.7887	97.7645	30.55	1.07	0.00	A
13	274.0889	97.7707	29.86	1.05	0.00	A
14	271.5361	97.9830	29.86	0.95	0.00	P
15	340.7718	94.8599	19.25	1.56	0.00	LL
16	332.9402	93.6120	11.19	1.13	0.00	LH
17	325.9305	95.2734	8.42	0.63	0.00	A
18	313.1325	94.4027	6.19	0.55	0.00	A
19	302.8004	95.1686	5.43	0.41	0.00	P
20	211.1913	101.6413	7.39	-0.19	0.00	PP
21	17.1240	96.2044	17.34	1.03	0.00	LH
22	29.5208	99.3135	15.82	0.17	0.00	A
23	40.3353	99.6885	14.82	0.07	0.00	A
24	46.1939	100.8461	14.67	-0.19	0.00	P
25	32.4155	99.5477	37.30	0.27	0.00	LH
26	39.4117	101.3042	37.39	-0.77	0.00	A
27	43.9325	101.4229	37.45	-0.84	0.00	A
28	47.3186	101.6491	37.92	-0.98	0.00	P

4001*					0.00	OR
4502-	0.0000	97.7901	85.88	2.98	0.00	OR
4002-	183.7516	105.9267	74.21	-6.93	0.00	OR
29	20.1959	92.0128	32.52	4.10	0.00	LL
30	16.2453	90.4055	24.04	3.65	0.00	LH
31	2.2642	96.6339	22.99	1.22	0.00	A
32	394.8317	96.8822	23.03	1.13	0.00	A
33	392.8204	97.3953	22.96	0.94	0.00	P
34	369.0660	99.3646	24.50	0.24	0.00	PP
35	147.7795	102.8280	4.04	-0.18	0.00	A
36	194.2066	104.3185	3.41	-0.23	0.00	A
37	211.8744	104.4014	3.73	-0.26	0.00	P
38	120.1452	81.2950	8.79	2.66	0.00	LH
39	165.1009	95.5183	22.60	1.59	0.00	LH
40	182.5255	104.4475	20.92	-1.46	0.00	A
41	190.9379	104.7276	21.03	-1.56	0.00	A
42	193.5513	104.9535	21.03	-1.64	0.00	P
43	185.1837	105.0378	38.53	-3.06	0.00	A
44	189.6067	105.1157	38.54	-3.10	0.00	A
45	190.7812	105.2791	38.48	-3.20	0.00	P

Příloha č. 7- Ukázka výpočtu podrobných bodů 1-185

[1] POLÁRNÍ METODA DÁVKOU

=====

Orientace osnovy na bodě 4502:

Bod	Y	X	Z
-----	---	---	---

4502	754882.55	1150598.21	418.55
------	-----------	------------	--------

Orientace:

Bod	Y	X	Z
-----	---	---	---

940130330	754890.03	1150514.60	424.26
-----------	-----------	------------	--------

4501	754945.61	1150631.42	418.23
------	-----------	------------	--------

4001	754839.45	1150523.95	415.57
------	-----------	------------	--------

Bod	Hz	Směrník	V or.	Délka	V délky	V přev.	m0	Red.
-----	----	---------	-------	-------	---------	---------	----	------

940130330	0.0000	194.3197	0.0009	83.93	0.01	0.02	0.0236	
-----------	--------	----------	--------	-------	------	------	--------	--

4501	274.8058	69.1410	0.0163	71.28	-0.01	-0.01	0.0127	
------	----------	---------	--------	-------	-------	-------	--------	--

4001	39.1767	233.4784	-0.0171	85.88	-0.02	-0.00	0.0109 *	
------	---------	----------	---------	-------	-------	-------	----------	--

Orientační posun : 194.3189g

$m_0 = \text{SQRT}([vv]/(n-1))$: 0.0167g

$\text{SQRT}([vv]/(n*(n-1)))$: 0.0097g

Test polární metody:

Oprava orientace [g]: Skutečná hodnota: 0.0171, Mezní hodnota: 0.0800

Mezní odchylky stanovené pro práci v katastru nemovitostí byly dodrženy.

Podrobné body

Polární metoda

Bod	Hz	Z	dH	V cíle	Délka	Y	X	Z	Popis
1	286.0372	99.9459	0.06	0.00	71.67	754950.84	1150619.98	418.61	L
2	277.1592	100.3550	-0.40	0.00	71.96	754947.41	1150629.38	418.15	A
3	274.7986	100.3335	-0.38	0.00	72.02	754946.26	1150631.79	418.17	A
4	273.8172	100.2237	-0.25	0.00	72.20	754945.89	1150632.86	418.30	P
5	265.9873	100.3771	-0.43	0.00	73.06	754941.86	1150640.87	418.12	PP
6	285.3438	99.8917	0.12	0.00	70.30	754949.29	1150620.29	418.67	LL
7	276.6821	99.0936	0.73	0.00	51.20	754928.53	1150620.73	419.28	L
8	275.7703	99.0777	0.74	0.00	51.21	754928.21	1150621.39	419.29	A
9	272.4896	99.1239	0.71	0.00	51.46	754927.17	1150623.84	419.26	A
10	271.0243	99.3110	0.56	0.00	51.66	754926.74	1150624.96	419.11	P
11	281.6247	97.5363	1.19	0.00	30.67	754911.06	1150609.53	419.74	L
12	279.7887	97.7645	1.07	0.00	30.55	754910.61	1150610.30	419.62	A
13	274.0889	97.7707	1.05	0.00	29.86	754908.81	1150612.43	419.60	A
14	271.5361	97.9830	0.95	0.00	29.86	754908.22	1150613.47	419.50	P
15	340.7718	94.8599	1.56	0.00	19.25	754898.95	1150588.13	420.11	LL
16	332.9402	93.6120	1.13	0.00	11.19	754892.73	1150593.56	419.68	LH
17	325.9305	95.2734	0.63	0.00	8.42	754890.55	1150595.58	419.18	A
18	313.1325	94.4027	0.55	0.00	6.19	754888.70	1150597.49	419.10	A
19	302.8004	95.1686	0.41	0.00	5.43	754887.97	1150598.46	418.96	P
20	211.1913	101.6413	-0.19	0.00	7.39	754883.19	1150605.57	418.36	PP
21	17.1240	96.2044	1.03	0.00	17.34	754879.45	1150581.15	419.58	LH
22	29.5208	99.3135	0.17	0.00	15.82	754876.76	1150583.49	418.72	A
23	40.3353	99.6885	0.07	0.00	14.82	754874.88	1150585.53	418.62	A
24	46.1939	100.8461	-0.19	0.00	14.67	754873.83	1150586.41	418.36	P
25	32.4155	99.5477	0.27	0.00	37.30	754867.34	1150564.15	418.82	LH
26	39.4117	101.3042	-0.77	0.00	37.39	754863.65	1150565.95	417.78	A
27	43.9325	101.4229	-0.84	0.00	37.45	754861.38	1150567.32	417.71	A

28 47.3186 101.6491 -0.98 0.00 37.92 754859.48 1150568.12 417.57 P