

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA BIOTECHNICKÝCH ÚPRAV KRAJINY



Optimální digitální model terénu pro erozní analýzy

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Jiří Brychta

Diplomant: Bc. Kamila Středová

2016

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Kamila Středová

Krajinné a pozemkové úpravy

Název práce

Optimální digitální model terénu pro erozní analýzy

Název anglicky

Optimal digital terrain model for erosion analysis

Cíle práce

1. Hlavním cílem práce je doporučit optimální postup pro zpracování hydrologicky korektního digitálního modelu terénu pro účely erozních analýz.
2. Analýza dostupných zdrojů výškových dat v rámci ČR i celosvětové a jejich možnosti využití pro erozní analýzy.

Metodika

1. Zpracovat přehled všech zdrojů výškových dat dostupných v rámci ČR i celosvětové a metody pořizování těchto dat formou literární rešerše.
2. V rámci literární rešerše zpracovat s důrazem metodu leteckého laserového skenování, metody a nástroje zpracování těchto dat – filtrační a klasifikační metody.
3. Zpracování výškových dat (zejména DEM 4G a DEM 5G) s důrazem na hydrologicky korektní DTM pomocí nástrojů ArcGIS a LAS Tools.
4. Aplikace vytvořených DTM pro vyhodnocení topografického faktoru USLE.
5. Analýza použitých metod a doporučení vhodného postupu pro erozní analýzy v prostředí GIS.

Doporučený rozsah práce

80

Klíčová slova

LiDAR, DTM, DEM 4G, DEM 5G, LAS Tools, ArcGIS, DPZ

Doporučené zdroje informací

DOLANSKÝ, T. Lidary a letecké laserové skenování. Ústí nad Labem: UJEP, 2004. ISBN 80-7044-575-0
Esri Support: Arc Hydro Tools – Tutorial [online]. 2011 [cit. 2015-20-03]. Dostupné z:
downloads.esri.com/archydro/archydro/Tutorial/Doc/Arc%20Hydro%20Tools%202.0%20-%20Tutorial.pdf

HALOUNOVÁ, L. Dálkový průzkum Země. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03124-1.

HUG, C. et al, Advanced LIDAR data processing with LAS TOOLS. 2011. Dostupné z: <http://lastools.com/>

Pavelka K.: Fotogrammetrie 1, skriptum, ČVUT 2009. ISBN 978-80-01-04249-6

Pavelka K.: Fotogrammetrie 2, skriptum, ČVUT 2011, ISBN 978-80-01-04719-4

POLAT, N. (2015). Investigating performance of Airborne LiDAR data filtering algorithms for DTM generation. MEASUREMENT, Vol. 63, Pages: 61-68

rapidlasso GmbH: Category Archives: tutorials [online]. 2010 [cit. 2015-22-03]. Dostupné z:
[/http://rapidlasso.com/LAStools](http://rapidlasso.com/LAStools)

SAILER, R., et al. (2014). Digital elevation models derived from airborne laser scanning point clouds: appropriate spatial resolutions for multi-temporal characterization and quantification of geomorphological processes. EARTH SURFACE PROCESSES AND LANDFORMS. Vol. 39 . Pages: 272-284

zdroje z WOS

Předběžný termín obhajoby

2016/17 ZS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Jiří Brychta

Garantující pracoviště

Katedra biotechnických úprav krajiny

Elektronicky schváleno dne 1. 4. 2015

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan

V Praze dne 06. 12. 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Optimální digitální model terénu pro erozní analýzy“ zpracovala samostatně pod vedením Ing. Jiřího Brychty a použila pouze literární prameny a publikace uvedené v seznamu použité literatury.

V Praze dne 10. prosince 2016

Kamila Středová

.....

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Ing. Jiřímu Brychtovi za cenné rady, připomínky a náměty při zpracování mé práce. Dále bych chtěla poděkovat Českému úřadu zeměměřickému a katastrálnímu za zapůjčení dat pro zpracování praktické části diplomové práce. Poslední a největší dík patří mé rodině a všem ostatním, kteří mě během doby mého studia podporovali.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá otázkou využitelnosti dostupných zdrojů výškopisných dat pro hodnocení topografického faktoru při určování množství vodní eroze v území. Práce porovnává výsledky s ohledem na původ dat, jejich přesnost a rozlišení digitálního modelu terénu, který je těmito daty tvořen. Výpočet topografického faktoru v prostředí ArcGIS bude konfrontován s výsledky univerzální rovnice ztráty půdy (USLE). Na základě četnosti shody bude odvozeno, jaký zdroj dat a rozlišení digitálního modelu terénu je pro stanovení topografického faktoru optimální.

Klíčová slova

Topografický faktor, vodní eroze, digitální model terénu, rozlišení a přesnost rastru, USLE, RUSLE, ArcGIS

Abstract

The thesis deals with the question of using available sources of elevation data for the evaluation of topographic factor in estimating the amount of water erosion in the area. Work compares the results with consideration to the origin of the data, the accuracy and resolution of the digital terrain model, which is interpolated from the source data. The calculation of topographic factor in ArcGIS will be confronted with the results of the Universal Soil Loss Equation (USLE). The frequency of compliance will tell us which data source and digital terrain model resolution is the most suitable for determining the topographic factor.

Key words

Topographic factor, water erosion, digital terrain model, raster resolution and accuracy, USLE, RUSLE, ArcGIS

**Optimální digitální model terénu pro
erozní analýzy**

**Optimal digital terrain model for erosion
analysis**

Obsah

Úvod.....	9
Cíle práce	11
Literární rešerše.....	12
1. Topografický faktor.....	12
1.1 Topografický faktor v USLE	12
1.2 Topografický faktor v RUSLE.....	13
1.3 Topografický faktor v RUSLE3D	13
1.4 Topografický faktor v USPED.....	14
1.5 Topografický faktor v USLE2D.....	15
2. Sběr výškových dat.....	16
2.1 Fotogrammetrie	16
2.2 LiDAR.....	17
2.3 UAV	17
3. Digitální modely zemského povrchu.....	18
3.1 TIN (Triangulated Irregular Network).....	19
3.2 Rastrová reprezentace	19
3.3 Vrstevnice a kóty.....	20
3.4 Mass Points	20
3.5 Digitální elevační model (DEM).....	21
3.6 Digitální model povrchu (DSM)	21
3.7 Digitální model terénu (DTM)	22
3.8 Digitální model reliéfu (DMR)	22
4. Výšková data dostupná v ČR	22
4.1 ZABAGED výškopis – 3D vrstevnice	22
4.2 ZABAGED výškopis – grid 10×10 m.....	22
4.3 Digitální model povrchu ČR 1. generace.....	23
4.4 Digitální model reliéfu ČR 4. generace.....	23
4.5 Digitální model reliéfu ČR 5. generace.....	23
4.6 INSPIRE – nadmořská výška.....	24
4.7 Digitální model území 1 : 25000.....	24
4.8 ASTER GDEM	25
4.9 SRTM GMTED.....	25
5. Zpracování dat v GIS.....	26
5.1 Interpolační metody	26
5.2 Určení směru odtoku	29

5.3 Akumulace odtoku	31
5.4 Určení sklonu terénu	32
5.5 Princip výpočtu topografického faktoru v GIS dle RUSLE.....	34
Metodika	34
1. Příprava dat.....	34
2. Zpracování dat a výpočet LS faktoru	35
Výsledky a diskuse.....	37
1. Úroveň bodových vrstev	38
2. Úroveň digitálních modelů terénu.....	41
2.1 Srovnání minimální, maximální a průměrné hodnoty nadmořské výšky	41
2.2 Srovnání změn mezi DEM s rozlišením 1 m	43
2.3 Srovnání změn mezi DEM s rozlišením 5 m	44
2.4 Srovnání změn mezi DEM s rozlišením 10 m	47
3. LS faktor.....	50
3.1 L faktor.....	50
3.2 S faktor	57
3.3 Hodnoty topografického faktoru	64
3.4 Srovnání hodnot topografického faktoru	69
4. Porovnání výsledků s LS faktorem USLE	76
4.1 Kontrolní linie č. 1	76
4.2 Kontrolní linie č. 2	78
4.3 Kontrolní linie č. 3	79
4.4 Kontrolní linie č. 4	81
4.5 Vyhodnocení výsledků.....	83
Závěr	85
Seznam použité literatury.....	86
Seznam zkratk	92

Úvod

Půdní eroze je proces, který spočívá v postupném narušování zemského povrchu, přenosu uvolněných půdních částic a jejich následné sedimentaci na jiném místě. K erozi může docházet samovolně, vlivem gravitace, nebo působením vnějších činitelů nejčastěji přírodního charakteru (Janeček, 2008). Je problémem, se kterým se potýká naprostá většina zemské pevniny, zvláště pak tam, kam svou činností zasahuje člověk. 80 % zemědělsky obdělávané půdy na světě je ohroženo střední až velmi silnou erozí, 10 % půdy je ohroženo erozí mírnou (Lal, 1994; Speth, 1994). Je zřejmé, že půda, která přichází do styku s technologiemi ji zpracovávajícími, ať pro hospodářské, urbanizační, stavební či jiné účely, je zranitelnější než půda, která je mechanickým zpracováním nedotčená. Již před více než 20 lety se uvádělo, že jen za posledních 40 let došlo celosvětově ke ztrátě téměř třetiny orné půdy vlivem erozních procesů a s nimi spojenou degradací půdy (Pimentel & Giampietro, 1994). Eroze připravuje půdu o její nejdůležitější součásti, ať už o svrchní vrstvu půdního profilu nebo jeho větší část, nebo dochází ke snižování množství humusu a živin v půdě, poničení plodin pěstovaných na půdě či vede k obtížnějšímu obdělávání z důvodu přítomnosti strží nebo jiných projevů eroze, a je třeba půdu před ní chránit (Boardman & Poesen, 2007).

Preventivní ochrana před erozí je jednoznačně ekonomicky účinnější než odstraňování následků eroze, které by jinak mohly být eliminovány nebo alespoň zmírněny (Janeček, 2008). Během kolektivizace a následném přechodu k hospodaření na velkých půdních blocích byla hrozba eroze přehlížena. Stejně tak byl přehlížen negativní efekt splavenin vodní a sněhové eroze na kvalitu vody a občasná neúroda na polích ve středních Čechách a na jižní Moravě z důvodu eroze větrné (Boardman & Poesen, 2007). V průběhu 50. let minulého století došlo k takzvané kolektivizaci zemědělství, kdy vlastníci byli nuceni se vzdát svých pozemků ve prospěch zemědělských družstev, což vedlo k přímému ohrožení cenných ekosystémů, snížení heterogenity krajiny, zániku cestní sítě a zejména ke zvýšení výskytu vodní a větrné eroze na nových rozlehlých pozemcích (Sklenička, 2003).

Současná úroveň technologie nám umožňuje získat téměř dokonalé simulace reálných situací. Modely eroze, kterými tyto simulace erozních procesů nazýváme, dokáží pomocí výpočetní techniky zpracovat objemná množství dat

(Kliment & Langhammer, 2005), a tím dosáhnout co nejpřesnějších výsledků a údajů o tom, jakým způsobem eroze v řešeném prostředí probíhá. Jak uvádí Janeček (2008), pro určení vodní eroze nás zajímají údaje o území, o vlastnostech půdy, o stávajícím způsobu hospodaření, o realizovaných protierozních opatřeních a údaje o vlastnostech terénu. Nejvýznamnější metodou predikce vodní eroze je rovnice USLE, jež je vyjádřena šesti faktory, které reprezentují podmínky místa tak, aby co nejlépe vykreslily skutečnou situaci. Zároveň jsou tyto faktory natolik univerzální, že je možné uplatnění rovnice prakticky kdekoliv (Janeček, 2008). Z těchto faktorů nás nejvíce budou zajímat faktory dva, a to faktor sklonu svahu a faktor horizontální projekce délky svahu, souhrnně známé jako topografický faktor.

Modely terénu využívané pro reprezentaci morfologie terénu při takové erozní analýze vycházejí z výškopisných dat poskytovaných v České republice především Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním, Vojenským geografickým a hydrometeorologickým úřadem; a zahraničními poskytovateli družicových snímků jako například NASA (The National Aeronautics and Space Administration) nebo JSS (Japan Space Systems). Takový model pak nejlépe uplatníme při určování hodnot topografického faktoru.

Cíle práce

Primárním cílem diplomové práce je zjištění, jaké rozlišení a přesnost musí mít výšková data, aby byla vhodná pro výpočet topografického faktoru při stanovení ohroženosti vodní erozí v území. Posouzení proběhne na základě analýzy dostupných zdrojů výškových dat v České republice.

Cílem praktické části je získání digitálních modelů terénu z rozdílných zdrojů výškových dat o různém rozlišení a následné porovnání, jak se mezi sebou tyto digitální modely terénu liší. Dále pak porovnání hodnot složek topografického faktoru mezi jednotlivými jeho reprezentacemi získanými z těchto rozdílných digitálních modelů terénu. Informace o přesnosti využitých zdrojů dat také můžeme získat porovnáním výsledků topografického faktoru z předchozí analýzy s hodnotami topografického faktoru vypočítanými odlišnou metodou.

Vedlejším cílem a úkolem rešeršní části bude popis metod výpočtu topografického faktoru; popis nejběžnějších metod získávání výškových dat na území České republiky a informace o těchto datech; popis interpretací digitálních modelů terénu a metod, které vedou k jejich vzniku; a uvedení metod výpočtu topografického faktoru v prostředí geografických informačních systémů.

Literární řešerše

1. Topografický faktor

Topografický faktor LS – faktor délky svahu a sklonu svahu, je faktorem, který je vnějšími vlivy v průběhu času téměř neměnný, nedojde-li k terénním úpravám či přerušení délky povrchového odtoku liniovým prvkem. Tento faktor odráží skutečnost, že s rostoucí délkou a zvyšováním sklonu svahu se rovněž zvyšuje riziko eroze (Wischmeier & Smith, 1978). Délkou v případě faktoru délky svahu rozumíme horizontální projekci délky svahu. Rozdíl mezi délkou vyjádřenou ve formě horizontální projekce a délkou skutečného pozemku se při výpočtu topografického faktoru projevuje u výrazně sklonitých pozemků (Janeček, 2012).

Výpočet topografického faktoru přináší více problémů než ostatní faktory USLE (Renard et al., 1997), zejména při aplikaci na skutečný terén. V této kapitole budou porovnány způsoby výpočtu topografického faktoru nejčastěji používanými metodami pro stanovení množství ztráty půdy vodní erozí, jimiž jsou univerzální rovnice ztráty půdy (dále jen „USLE“), revidovaná rovnice ztráty půdy (dále jen „RUSLE“) a metoda USPED.

1.1 Topografický faktor v USLE

USLE je empirická metoda predikce vodní eroze navržená pro určení ztráty půdy povrchovým odtokem z určitého místa se specifickým vegetačním krytem a způsobem hospodaření z dlouhodobého hlediska. Pokud hodnoty jednotlivých faktorů USLE jsou zvoleny tak, že jejich hodnoty co nejlépe odrážejí skutečné podmínky lokality, výsledkem rovnice bude dlouhodobá průměrná roční ztráta půdy (Wischmeier & Smith, 1978).

Vzorec pro výpočet topografického faktoru se liší na základě sklonu svahu. V případě, že sklon svahu je menší než 9 %, je vypočten jako

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22,13}\right)^m \times (10,8 \sin \theta + 0,03). \quad 1 \text{ (Janeček, 2008)}$$

V případě, že sklon svahu je větší nebo roven 9 %, faktor LS se vypočte jako

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22,13}\right)^m \times (16,8 \sin \theta - 0,5), \quad 2 \text{ (Janeček, 2008)}$$

kde λ v rovnici vyjadřuje horizontální projekci délky svahu, m reprezentuje exponent svahu na základě náchylnosti k tvorbě rýžek a θ v rovnici znázorňuje úhel sklonu svahu v radiánech (Janeček, 2012).

$$m = \frac{\beta}{1+\beta} \quad 3 \text{ (Wischmeier \& Smith, 1978)}$$

$$\beta = \left\{ \frac{\left(\frac{\sin \theta}{0,0896} \right)}{[3(\sin \theta^{0,8})+0,56]} \right\} \quad 4 \text{ (Wischmeier \& Smith, 1978)}$$

1.2 Topografický faktor v RUSLE

RUSLE se používá stejně jako USLE pro určení průměrných ročních ztrát půdy, kdy příčinou ztrát je vodní eroze, a to na zemědělsky využívaných pozemcích, ale i na pozemcích s nezemědělským využitím jako jsou například stavební pozemky (Janeček, 2008). RUSLE používá ve srovnání s USLE odlišnou metodiku hodnocení jednotlivých faktorů a při zjišťování ohroženosti vodní erozí využívá již od počátku své existence výpočetní techniku. Existuje databáze, která obsahuje rozmanité informace o možných vlastnostech faktorů na území Spojených států amerických, a tak je možné získat výsledky přesnější pro specifické podmínky konkrétních lokalit (Renard et al., 1997). Na území České republiky RUSLE používána v míře, jako je používána ve Spojených státech, rozhodně není, neboť neexistuje jednotná databáze pro naše území (Janeček, 2008).

Topografický faktor $L \times S$ v RUSLE oproti faktoru $L \times S$ v USLE změněn tak, aby zohledňoval poměr rýžkové a mezirýžkové eroze. RUSLE zároveň uvažuje fakt, že svah může být rozdělen do několika homogenních segmentů (Renard, 1997).

$$LS_i = \frac{S_i x^m [i^{m+1} - (i-1)^{m+1}]}{72,6^m} \quad 5 \text{ (Renard, 1997)}$$

LS_i je hodnota LS faktoru pro i -tý segment; x je délka segmentu (ve stopách); m je exponent svahu vyjadřující náchylnost k tvorbě rýžek, jehož hodnota je určena stejnou metodou, jako v případě USLE (Renard, 1997).

1.3 Topografický faktor v RUSLE3D

V době, která uplynula mezi počátkem používání USLE a nástupem RUSLE v 90. letech, bylo vyzorováno, že na nepravidelných či segmentovaných svazích vztah $L \times S$ z USLE úplně neplatí, protože na konvexních svazích je eroze o 30 % větší, než se předpokládalo; a naopak na konkávních svazích průměrné hodnoty eroze nedosahují takových hodnot, jako eroze na pravidelných svazích o stejných sklonech,

a že největší podíl na množství erodované půdy na takovém svahu probíhá v jeho horní třetině. Aby se tento fakt ve výpočtu projevil, byla do výpočtu tato plocha (tzv. „contributing area“) implikována. Velikost této plochy může být poměrně přesně určena pomocí výpočtu akumulace odtoku, kterému se podrobněji věnuje kapitola 5.3 literární rešerše (Mitášová et al., 1996).

RUSLE3D představuje jisté zjednodušení oproti RUSLE. Hodnotu LS faktoru pro určitý bod (například „r“) vypočítáme následujícím způsobem:

$$LS(r) = (m + 1) \left[\frac{A_s(r)}{22,13} \right]^m \left[\frac{\sin b(r)}{\sin 5,143^\circ} \right]^n \quad 6 \text{ (Mitášová et al., 1996)}$$

A_s reprezentuje tuto plochu, b je sklon svahu, m a n jsou exponenty vyjadřující tendence k tvorbě eroze. Hodnoty exponentu m zpravidla leží v intervalu mezi 0,4 a 0,6; hodnoty exponentu n dosahují hodnot 1,2-1,3 (Moore & Wilson, 1992).

Vyjádření tohoto výpočtu v prostředí GIS pak vypadá následovně:

$$LS = \left(\frac{A_s * x}{22,13} \right)^{0,6} * \left(\frac{\sin \theta * 0,01745}{0,09} \right)^{1,3} \quad 7 \text{ (Mitášová et al., 1996)}$$

A_s je zastoupen rastrem akumulace povrchového odtoku, x představuje rozlišení rastru, θ v rovnici zastupuje sklon svahu v radiánech.

1.4 Topografický faktor v USPED

USPED (unit stream power-based erosion deposition), je model eroze založený na hodnotě množství odtoku na jednotku plochy, který určuje prostorové rozložení eroze a míru sedimentace pro místa, kde jsou hodnoty dešťových srážek v průběhu času téměř konstantní. USPED předpokládá, že je erozní proces limitován množstvím transportované hmoty, tedy že v důsledku nám vznikne jen určité množství sedimentu, které koreluje s transportní kapacitou povrchového odtoku. Tato metoda také předpokládá, že množství půdy přemísťované povrchovým odtokem pokaždé dosahuje maximální hodnoty transportní kapacity. Rozdíl mezi odnosem a sedimentem je vyjádřen jako změna v transportu sedimentu (Mitášová et al., 1996).

Při aplikaci topografického faktoru využívaného USPED v prostředí GIS odlišujeme erozi plošnou a soustředěnou (výmolnou, rýžkovou). Výpočet topografického faktoru vychází z rastrů akumulace odtoku a sklonitosti, jejichž algoritmy výpočtu budou popsány v kapitolách 5.3 a 5.4.

Pro soustředěnou erozi výpočet topografického faktoru vypadá následujícím způsobem:

$$LS=(A_s*x)^{0,6}*(\sin(\theta*0,01745))^{1,3} \quad 8 \text{ (Mitášová et al., 1996)}$$

Pro plošnou erozi je vzorec upraven takto:

$$LS=A_s*x*\sin(\theta*0,01754) \quad 9 \text{ (Mitášová et al., 1996)}$$

A_s reprezentuje plochu akumulace (v prostředí GIS je nahrazen rastrem akumulace povrchového odtoku), x je rozlišení rastru a θ vyjadřuje sklon svahu v radiánech.

1.5 Topografický faktor v USLE2D

Topografický faktor v USLE2D je oproti USLE pozměněn v tom, že horizontální projekce délky svahu, faktor L, je v USLE2D nahrazen jednotkou plochy, ze které proces eroze probíhá (Desmet & Grovers, 1996). Tato plocha je definována jako jednotka plochy s vyšší nadmořskou výškou, ze které voda odtéká, na jednotku délky vrstevnice. USLE2D tak může analyzovat erozní procesy v topograficky komplexních oblastech (Van Oost et al., 2000).

USLE2D od sebe odděluje faktor délky svahu L a faktor sklonu svahu S. Sklon svahu se stejně jako v USLE vypočte jako:

$$S=10,8*\sin\theta+0,03 \quad \text{pro sklon} < 9\% \quad 10 \text{ (McCool et al., 1997)}$$

$$S=16,8*\sin\theta-0,5 \quad \text{pro sklon} \geq 9\% \quad 11 \text{ (McCool et al., 1997)}$$

Pro výpočet faktoru L byla erodovaná plocha rozdělena na úseky, ze kterých povrchový odtok odtéká do stejné buňky v rastru. Šířka úseku tak závisí na směru odtoku a směru sklonu terénu (Desmet & Grovers, 2006).

$$L_{x,y} = \frac{[(A_{x,y}+D^2)^{m+1} - (A_{x,y})^{m+1}]}{z_{x,y}^m * D^{m+2} * 22,13^m}, \quad 12 \text{ (Desmet & Grovers, 2006)}$$

kde $L_{x,y}$ je hodnota faktoru délky svahu pro určitou buňku rastru se souřadnicemi x , y ; $A_{x,y}$ je kontribuční plocha [m^2] pro tutéž buňku; D vyjadřuje rozlišení rastru [m]; $z_{x,y}$ je směr odtoku z této buňky a m je exponentem svahu.

2. Sběr výškových dat

Programy, které výpočty zpracovávají, ať už se jedná o geografické informační systémy (dále jen GIS) nebo programy typu CAD (computer-aided design), vždy potřebují výšková data pro definování morfologie terénu, a tedy pro výpočet topografického faktoru $L \times S$, který je podstatnou složkou výpočtů potenciální eroze v území (Mitášová et al., 1996).

Není to však pouze fotogrammetrie, která stojí za současným digitálním modelováním zemského povrchu. Významnou roli hraje rovněž dálkový průzkum Země za pomoci vyvinutých systémů, na základě kterých získáváme data určitého území v určitém čase vyobrazená ve viditelné části elektromagnetického záření, případně infračervené části spektra – vše záleží na účelu, pro který jsou data pořizována (Schowengerdt, 2007).

2.1 Fotogrammetrie

Fotogrammetrii podle vzdálenosti přístroje, který zemský povrch snímá, od daného povrchu můžeme dělit na fotogrammetrii pozemní neboli blízkou, a fotogrammetrii leteckou. U pozemní fotogrammetrie je přístroj, kterým je snímán zemský povrch umístěn na statickém bodě, jehož poloha je geodeticky zaměřená. Nároky na pořízení takového snímku jsou podstatně nižší než u snímků pořizovaných leteckou fotogrammetrií, která, jak již název napovídá, spočívá v pořizování obrazu zemského povrchu z pohybujícího se média ve vzduchu, tedy z letadla, vrtulníku nebo bezpilotního zařízení (Böhm, 2002).

Po většinu 20. století byla fotogrammetrická data získávána stereoskopickými metodami, tedy tak, že stejný objekt byl snímán dvakrát z odlišných úhlů a spojením snímku vznikl výsledný obraz, který byl přesnější a zanechával potřebný dojem hloubky. V současné době je na základě dvou překrývajících se fotografií možné vytvořit 3D snímek, a to na základě bodů sdílených v obou fotografiích (Granshaw, 1980). Pro tento účel je možno využít takzvaných vlíčovacích bodů, což jsou body se známou polohou na základě geodetických souřadnic, které by měly být označeny přímo v terénu ve chvíli, kdy probíhá fotogrammetrické snímání místa. Tyto body jsou však primárně určeny pro geodeticky přesné umístění jednotlivých snímků do souvislého obrazu území (Hanzl & Sukup, 2001).

2.2 LiDAR

Light Detection And Ranging neboli LiDAR, je přístroj fungující na principu laserového záření. Toto záření může být přerušované nebo kontinuální, jeho zdroji mohou být pevnolátkové rubínové lasery dosahující vysokých výkonů nebo lasery diodové, které nevyžadují vysoký výkon a jejich variabilita na trhu je vysoká. Nejen výkon je však rozhodujícím faktorem při volbě druhu laseru, dalším důležitým faktorem je požadovaná vlnová délka zařízení. Dalším skladebným prvkem LiDARu je optická soustava, která zajišťuje soustředění laserem emitovaného záření do velmi úzkého svazku a souosost zdroje záření s detektorem elektromagnetického záření, který zaznamenává odražené paprsky. Neméně významnou částí tohoto zařízení jsou velmi přesné hodiny, které měří čas mezi emitací svazku paprsků a jejich zaznamenáním na detektoru, na základě čehož lze určit vzdálenost zařízení od objektu za předpokladu, že známe směr emitovaného svazku paprsků (Dolanský, 2004).

V současnosti je využívání LiDARových dat pro vytváření digitálních modelů zemského povrchu běžnou záležitostí. Ve srovnání s fotogrammetrií jednou z výhod využívání LiDARu je jeho schopnost získávat velké množství velmi přesných informací o zemském povrchu. Na druhé straně ovšem stojí fakt, že velká hustota bodů snímaných tímto způsobem vede k růstu nároků na paměťová zařízení výpočetní techniky. Problémy vznikají i při jejich zpracování, vykreslování a přenosu na jiná zařízení. Data tedy musí být pečlivě filtrována na základě toho, jaké informace o území chceme získat (Chen et al., 2015).

2.3 UAV

UAV technologie (Unmanned Aerial Vehicle), drony čili technologie bezpilotních letounů, existují v podstatě ve dvou verzích. Verzi, kdy je letoun člověkem řízen na dálku z nějakého konkrétního místa (International Civil Aviation Organization, 2011) nebo autonomně na základě předem naprogramovaných letových plánů (Templeton et al., 2007).

Tato technologie za posledních několik let prošla výraznými proměnami a UAV dnes představují konkurenci konvenčním fotogrammetrickým metodám díky svým malým rozměrům (zpravidla bývají menší než pilotované letouny), nízké hmotnosti, vysoké odolnosti, své schopnosti měnit rychlost letu až po úplné zastavení, poměrně velkým doletovým vzdálenostem a možností regulovat výšku letu. Je pravděpodobné, že

UAV nabídnou nové možnosti v monitorování nejen zemědělských ploch, ale i tam, kde je zapotřebí dat s vysokým prostorovým rozlišením v téměř reálném čase (Herwitz et al., 2004).

Vzhledem k tomu, že na prostředky UAV je možné upevnit téměř jakýkoliv přístroj, lze je využívat pro fotogrammetrické i laserové snímkování zemského povrchu. Díky svým malým rozměrům mohou monitorovat i místa tradičními způsoby nedostupná, a nabídnout tak podrobný pohled i na komplexní složité útvary zemského povrchu z ptačí perspektivy (Marzolf & Poesen, 2009), nebezpečné lokality (území poškozená přírodními katastrofami, zejména povodněmi a zemětřeseními), hory a sopky, aniž by byl ohrožen život pilota letounu, který snímky pořizuje. Využitím snímků získaných UAV technologií je možné vytvořit digitální modely zemského povrchu, jež budou specifikovány v kapitole 4 (Ruzgienė et al., 2015).

3. Digitální modely zemského povrchu

Současná tvorba digitálních modelů není pouze fyzickým modelováním, jako tomu bývalo v jejich počátcích. Je modelováním především matematickým, kdy jednotlivé body reálného terénu jsou zpracovány s určitou přesností, v určité hustotě a s určitým rozptřením v prostoru tak, že co nejpřesněji reprezentují skutečný povrch. Body, které jsou charakterizovány určitou výškou, svažitostí, expozicí ke světovým stranám a dalšími parametry, jejichž přesnou hodnotu z měření neznáme, jsou z dostupných dat získávány interpolací (Li et al., 2005).

Modely terénu mohou být podle způsobu zacházení s informacemi rozděleny do dvou skupin. První skupina získává informaci o určitém bodu povrchu terénu přímo ze vstupních dat pokaždé, kdy chceme znát některou z jeho vlastností. Naopak druhá skupina ze vstupních dat nejdříve vytvoří pomocí interpolace grid, ze kterého si během zjišťování jednotlivých vlastností získává data, namísto opakovaného načítání vstupních dat (Toppe, 1987). Gridem rozumíme formát, ze kterého lze jednodušeji číst informace o datech. Tyto informace jsou nejčastěji ukládány ve formě textových souborů (ArcGIS Resources Centre, 2013).

Aby mohl model jako takový vzniknout, je potřeba mu dodat výšková data získaná prostřednictvím metod sběru vstupních dat uvedených v předchozí kapitole.

Na počátku každého digitálního modelu stojí zadání, tedy určitý požadavek na zpracování digitálního modelu terénu území, ať už za účelem krajinného nebo

územního plánování a s nimi spojených činností, mezi které patří i modelování erozních procesů, nebo pro různé vizualizace. Sběrem dat získáváme surová data, která je nutno ověřit a zpřesnit podle toho, pro jaký typ digitálního modelu je určen (Li et al., 2005).

3.1 TIN (Triangulated Irregular Network)

Triangulated Irregular Network (dále jen TIN) se skládá ze sítě nepravidelných trojúhelníků, jejichž vrcholy jsou body s naměřenými hodnotami nadmořské výšky. Tyto hodnoty jsme mohli získat pomocí měření v terénu, ale častějším zdrojem hodnot těchto bodů je LiDAR (Isenburg et al., 2006).

Ve spojení s TIN existuje pojem „break line“, což je lineární prvek, který reguluje hladkost povrchu (takzvané „soft break lines“) nebo určuje výrazné změny průběhu povrchu, kterými je například místo, kde se setkávají dva různé svahy, toky, břehy toků či vodních děl, vodní díla nebo hřbety kopců (takzvané „hard break lines“). Zvláštním příkladem jsou „hydro break lines“, které se týkají vodních ploch a jsou relevantní zejména ve spojení s LiDARovým snímáním vodních ploch, neboť laser někdy prochází skrze hladinu a namísto odrazu paprsku od povrchu je paprsek pohlcen, čímž tvoří lokální chyby (Maune, 2011).

Existují dvě základní fáze vytváření TINu, a to fáze výběru bodů, které budou tvořit základní strukturu, a fáze spojení bodů do trojúhelníkové vrstvy (Peucker et al., 1978). V dnešní době informačních technologií je poměrně snadné TIN vytvořit. V programu ArcGIS existuje funkce Create TIN (3D Analyst), která ze vstupních hodnot tvořených z bodů, obou typů break lines, případně hranic zájmového území (hard clip/soft clip), informací o místech, která do TIN nebudou zahrnuta (hard erase/soft erase) a o místech s konstantní nadmořskou výškou (hard replace/soft replace), vytvoří podle sloupce atributové tabulky, který definuje nadmořské výšky jednotlivých bodů, vrstvu sítě TIN (ArcGIS Resources, 2016a).

3.2 Rastrová reprezentace

Rastrová reprezentace neboli rastrový datový model, pracuje s daty jako s pravidelnou čtvercovou sítí, která má v souřadnicovém systému (v našich podmínkách tedy S-JTSK Krovak East North) jasně definované souřadnice počátečního bodu, velikost pixelu (tedy rozlišení) a jejich počet ve směrech X a Y,

tedy řádcích a sloupcích. Každý pixel (buňka) je charakterizován hodnotami – např. nadmořskou výškou, sklonem a expozicí svahu (Jedlička & Mentlík, 2002).

Data v rastrové podobě jsou univerzálním nástrojem využívaným vědci zabývajícími se půdou. I data, která obdrží ve vektorové podobě, kterou nejčastěji tvoří TIN, se převádějí do rastrů pro snadnější manipulaci při různých analýzách (Maune, 2011).

3.3 Vrstevnice a kóty

Vrstevnice jsou liniové prvky spojující místa o stejné výšce založené na určitém výchozím bodě, nejčastěji úrovni mořské hladiny. V GIS bývají vrstevnice součástí atributové tabulky. Kóty jsou bodové prvky vyjadřující nadmořskou výšku určitého bodu (Bláha & Hudeček, 2006).

Oba prvky se nejčastěji vyskytují na kartografických dílech. Vrstevnice se využívají pro mapovou interpretaci 3D modelů terénu, zatímco ostatní produkty snímkování a skenování zemského povrchu (mass points, break lines, TIN, DEM, DTM a DSM) se využívají při počítačové vizualizaci terénu a pro analýzy území spjaté s terénem. Zároveň vrstevnice pro kartografická díla se získávají z digitálních modelů zemského povrchu, konkrétně z DTM, který je topograficky nejpřesnější (Maune, 2011).

Vrstevnice mohou být využity pro tvorbu DEM, nicméně při interpolaci vrstevnic dochází k chybám, které jsou způsobeny užitými algoritmy při interpolaci. Tuto chybu můžeme vypočítat a následně upravit interpolované hodnoty, abychom dosáhli přesnějších hodnot v rastru. Označuje se jako střední kvadratická chyba (RMSE = root mean square error) a vypočte se na základě znalosti referenčních bodů, jejichž nadmořskou výšku známe, následujícím způsobem:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n}}, \quad 13 \text{ (Wise, 2000)}$$

kde d_i vyjadřuje výškový rozdíl mezi referenční hodnotou a hodnotou v interpolovaném rastru a n je počtem referenčních bodů (Wise, 2000).

3.4 Mass Points

Mass Points jsou nepravidelně rozmístěné body v území, které bylo automatickými metodami nasnímáno pomocí LiDAR či IFSAR skenerů nebo fotogrammetrickými technikami. Jsou definovány souřadnicemi X, Y a disponují hodnotou nadmořské výšky, tedy souřadnicí Z (Maune, 2011).

Při vytváření vrstvy Mass Points by v ideálních případech mělo být snímáno buď obrovské množství bodů, které je ale nicméně náročné na výpočetní techniku, nebo by měly být snímány pouze body, které morfologii území jasně definují (ArcGIS Resources Centre, 2013).

Slouží zejména pro vytváření TIN pomocí nástroje Create TIN v programu ArcGIS, jenž byl popsán výše, a pro vytváření digitálních modelů zemského povrchu.

3.5 Digitální elevační model (DEM)

Digitální elevační model (digital elevation model, dále jen DEM) by podle rozdělení modelů terénu patřil do druhé kategorie (Toppe, 1987). Jedná se o model reprezentující nadmořskou výšku území bez informací o tom, co se na povrchu půdy nachází. Bývá podkladem ostatním modelům, jako je digitální model terénu DTM a digitální model povrchu DSM, které tyto informace obsahují (Li et al., 2005).

Model může být reprezentován rastrovou podobou jako pravidelná síť znázorňující nadmořské výšky v každé buňce rastru nebo vektorovou podobou v TIN – v tom případě by se však jednalo o model první skupiny (Toppe, 1987).

DEM se využívá zejména pro určení topografického faktoru při aplikaci USLE nebo RUSLE do GIS. Na přesnosti výpočtu závisí rozlišení, ve kterém máme DEM dostupný. Nejčastějším prostředkem získávání podkladů pro DEM je dálkový průzkum Země, který vedle dat získaných měření v terénu, není tolik finančně nákladný zejména v odlehlých oblastech (Marzloff & Poesen, 2009). Během posledních dvou desetiletí rapidně vzrostla produkce DEM s poměrně dobrým rozlišením, hlavně kvůli rozšíření laserového skenování LiDAR a družicového snímkování SRTM (Wilson, 2011).

3.6 Digitální model povrchu (DSM)

Digitální model povrchu (digital surface model, dále jen DSM) na rozdíl od DEM, který zobrazuje čistý povrch bez vegetace a antropogenních prvků, které se na něm nacházejí, zahrnuje výškové kóty střech budov, věží, korun stromů a dalších prvků na zemském povrchu, které nejsou přímo morfologickými znaky.

Využívá se zejména pro návrh inženýrských sítí, hodnocení bezpečnosti letecké dopravy, lesní hospodářství a 3D modelování zemského povrchu se všemi jeho prvky (Maune, 2011).

3.7 Digitální model terénu (DTM)

Digitální model terénu (digital terrain model, dále DTM) stejně jako DEM zobrazuje terén bez prvků vegetace a prvků tvořených člověkem na jeho povrchu, ale je zpřesněn výraznými topografickými prvky; „mass points“ a „break lines“, které jsou nepravidelně rozloženy v území. Takto je výsledný model přesnější pro charakteristiky morfologických vlastností terénu, neboť výrazné rozlišovací znaky jsou jasně definovány a jsou přesněji umístěny v prostoru. DTM však bývají podstatně dražší a časově náročnější na zpracování než DEM právě kvůli výše zmiňovaným prvkům, které jej topograficky zpřesňují oproti DEM (Maune, 2011).

3.8 Digitální model reliéfu (DMR)

Jedná se v podstatě o ekvivalent DEM v prostředí České republiky. Český úřad zeměměřický a katastrální poskytuje DMR 4G a DMR 5G, jež budou podrobněji popsány v následující kapitole.

4. Výšková data dostupná v ČR

Hlavním poskytovatelem výškových dat v České republice je Český úřad zeměměřický a katastrální (dále jen ČÚZK), který poskytuje výškopis základní báze geografických dat (dále jen ZABAGED) ve formě vrstevnic a gridu s rozlišením 10×10 metrů, digitální model povrchu 1G, DMR 4G a DMR 5G a INSPIRE. Dalšími poskytovateli jsou Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad (dále jen VGHMÚř), který poskytuje digitální model území, a National Aeronautics and Space Administration (dále jen NASA) poskytující modely Aster GDEM a SRTM.

4.1 ZABAGED výškopis – 3D vrstevnice

ZABAGED – výškopis 3D vrstevnice se skládá ze třech typů vrstevnic se základním intervalem 5, 2 nebo 1 m v závislosti na charakteru terénu daného území, výškopisné body a terénní hrany, takzvané break lines. Přesnost výšky vrstevnic je závislá na sklonu a členitosti terénu a nabývá hodnot 0,7 až 1,5 m v odkrytém terénu, 1 až 2 m v sídlech a 2 až 5 m v zalesněném terénu. Data byla získána vektorizací výškopisných údajů Základní mapy České republiky v měřítku 1 : 10000 a byla následně zpřesněna fotogrammetrickou metodou (ČÚZK, 2016b).

4.2 ZABAGED výškopis – grid 10×10 m

ZABAGED – výškopis grid má výškopisná data doplněna o model území České republiky v podobě pravidelného čtvercového rastru s prostorovým rozlišením

10×10 metrů. Tento výškový model vznikl interpolací z vrstevnicového modelu vytvořeného digitalizací vrstevnic Základní mapy České republiky v měřítku 1 : 50000 (ČÚZK, 2016b).

4.3 Digitální model povrchu ČR 1. generace

Digitální model povrchu České republiky 1. generace (DMP 1G) označuje DSM pro území České republiky, tedy model území zahrnující stavby a vegetační pokryv. Je poskytován ve formě TIN se střední výškovou chybou 0,4 m pro budovy, které jsou přesně vymezeny, a 0,7 m pro nepřesně vymezené objekty, jako jsou lesy a jiné prvky vegetačního pokryvu. Vznikl laserovým skenováním, které proběhlo na území ČR v letech 2009 až 2013.

Účelem DMP 1G je využití pro analýzy území, například k analýzám viditelnosti, při navrhování inženýrských sítí (zejména při navrhování umístění rádiových zařízení), predikce šíření nebezpečných látek a nečistot vzduchem a vytváření trojrozměrných modelů zemského povrchu pro různé vizualizace. Zatím však nepokrývá celé území státu, jeho plánované dokončení se předpokládá koncem letošního roku (ČÚZK, 2016b).

4.4 Digitální model reliéfu ČR 4. generace

Digitální model reliéfu České republiky 4. generace (dále jen DMR 4G) je digitálním modelem terénu, a je tedy tvořen terénem – ať už přirozeným nebo lidskou činností pozměněným – bez vegetace a staveb. Je reprezentován diskrétními body v pravidelné síti 5×5 m se souřadnicemi X, Y a výškovou hodnotou Z v Baltickém výškovém referenčním systému. Střední souřadnicová chyba výšky je 0,3 m v terénu bez vegetace a 1 m v terénu s vegetací.

Model vznikl z dat pořízených leteckým laserovým skenováním v letech 2009 až 2013 a je určen k analýzám terénních poměrů regionální povahy, například při projektování rozsáhlých dopravních a vodohospodářských záměrů, hodnocení přírodních jevů a k jiným analýzám (ČÚZK, 2016b).

4.5 Digitální model reliéfu ČR 5. generace

Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (dále jen DMR 5G) stejně jako DMR 4G představuje digitální model terénu bez prvků vegetace a prvků člověkem vybudovaných a stejně jako DMR 4G vznikl laserovým skenováním. Na rozdíl od DMR 4G je však DMR 5G reprezentován výškami diskrétních bodů, které jsou však

rovněž definovány souřadnicemi X, Y, Z s výškopisnou hodnotou v Baltickém systému, uspořádaných do trojúhelníkové sítě. Střední souřadnicová chyba zde dosahuje hodnoty 0,18 m ve volném terénu a 0,3 m v terénu s vegetací.

Účelem modelu jsou vzhledem k jeho vysoké úrovni podrobnosti různé analýzy na lokální úrovni, například pozemkové úpravy, místní záměry dopravní infrastruktury, realizace vodohospodářských a pozemních staveb, monitorování přírodních jevů, počítačové vizualizace terénu v GIS a je základním zdrojem vrstevnic pro mapy velkých měřítek (ČÚZK, 2016b).

4.6 INSPIRE – nadmořská výška

Služba INSPIRE je založena na informacích o území 28 členských států Evropské Unie, zahrnuje 34 různých témat, která jsou jednotlivými státy EU pořizována podle určitých pravidel, která jsou všem členským státům společná (European Commission, 2016).

Nadmořská výška je jedním z 34 témat INSPIRE. Vychází z DMR 4G, a aby splňovala společné požadavky EU, souřadnicový systém S-JTSK Krovak East North, který se běžně v našich zeměpisných podmínkách využívá, byl pro většinu území ČR transformován do souřadnicového systému ETRS89-TM33N, východní pás území (od 17° východní délky) byl transformován do ETRS89-TM34N.

Účelem dat INSPIRE je především splnění požadavku EU na vytvoření jednotné sítě územních informací členských států. Data jsou poskytována ve formě TIFF, tedy v rastrové podobě, s prostorovým rozlišením 5 m (ČÚZK, 2016b).

4.7 Digitální model území 1 : 25000

Digitální model území v měřítku 1 : 25000 (dále jen DMÚ25) je poskytován Vojenským geografickým a hydrometeorologickým úřadem generála Josefa Churavého v Dobrušce. První impuls vytvořit vektorový obraz topografických objektů v Tematické mapě 1 : 25000 přišel v roce 1992 a až do roku 1995 byla tvořena struktura budoucí databáze DMÚ25. Databázi tvoří vrstvy vodstva, komunikací, trasy inženýrských sítí, vegetace, lidských sídel a vrstevnic. DMÚ25 navíc na každém mapovém listu vyznačuje objekty, které jsou vyšší než 37 m. Součástí DMÚ25 je ortofoto mapa s prostorovým rozlišením 0,5×0,5 m. Tento model je polohově přesný zejména proto, že slouží vojenským účelům (Faigl et al., 2005).

4.8 ASTER GDEM

ASTER GDEM je produktem vyvinutým ministerstvem financí, obchodu a průmyslu Japonska a centrem NASA Spojených států amerických, který je volně dostupný široké veřejnosti. Jsou to data sbíraná družicí TERRA, respektive jejím multispektrálním skenerem ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer).

ASTER GDEM je jediným DEM, který obsahuje data pro veškerou pevninu vyskytující se na Zemi ve vysokém rozlišení (15 m ve viditelné části a blízké infračervené oblasti, 30 m ve střední infračerveném pásmu a 90 m v tepelném infračerveném pásmu) spektra elektromagnetického záření.

V roce 2004 byla spuštěna služba „Observation request from users“, kdy každý, kdo by chtěl data ASTER získat, může požádat o data pro nějaké území, která nejsou dostupná již zpracovaná v datových archivech. Standardní doba vyřízení takové žádosti se pohybuje okolo třech měsíců, neboť ne vždy jsou vhodné podmínky pro pořízení snímku ve chvíli, kdy se TERRA nad lokalitou vyskytuje, a možnost opakování odpovídá době oběhu po oběžné dráze, tedy 16 dní (Japan Space Systems, 2016).

4.9 SRTM GMTED

Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) je dostupný ve verzi SRTM-1 pro území Spojených států amerických v rozlišení 1 arcsekundy (cca 30 m v oblasti rovníku) a ve verzi SRTM-3 s prostorovým rozlišením 3 arcsekundy, což odpovídá přibližně 90 metrům v oblasti rovníku, která je dostupná pro území mezi 56° jižní a 60° severní šířky, tedy zhruba 80 % zemského povrchu (Smith & Sandwell, 2003).

GMTED (Global Multi-resolution Terrain Elevation Data), což je v podstatě DEM, je dostupný celkem ve třech verzích, a to verze 1; verze 2, která je již částečně zpracovaná a je uživatelsky přijatelnější než přímé výsledky měření verze 1; a verze 3 neboli SRTM Plus, což je upravená verze 2 o data ASTER GDEM v místech, kde data chyběla nebo byla velmi nepřesná. Verze 2 rovněž obsahuje vektorovou vrstvu znázorňující pobřežní čáru ve formátu shapefile podporovaným ESRI (The National Aeronautics and Space Administration, 2016).

5. Zpracování dat v GIS

Jak již bylo řečeno (viz kapitola 4), výšková data se dají získat v podobě vektorové (body, vrstevnice) nebo rastrové reprezentace. Při určování predikce erozních procesů se nejčastěji využívají DEM či DTM (Hickey, 2000), snahou tedy bude převést výšková data na tento druh modelu zemského povrchu. Abychom mohli takový model z vektorových dat (získaných fotogrammetrií nebo laserovým skenováním zemského povrchu) vytvořit, musíme výšková data interpolovat. Na základě zvolené metody interpolace získáme DEM či DTM v odpovídající kvalitě (Schwendel et al., 2010).

5.1 Interpolační metody

V rámci interpolace je vhodné definovat pojem „neighbor“ (soused), jež je hodnotou pixelu v buňce sousedící s další buňkou. V GIS je nejčastěji využíváno sousedství v podobě obrazce o rozměrech 3×3 pixely. Téměř každá buňka je obklopena osmi sousedícími buňkami. Pouze buňky okrajové mají sousedů méně. Nejméně však mají sousedy tři, pokud se jedná o pravidelný čtvercový rastr (Moore et al., 1991).

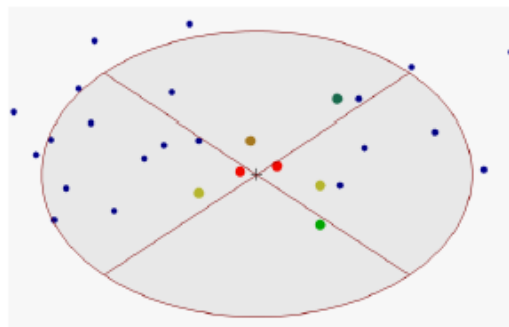
Existuje mnoho přístupů klasifikace interpolačních metod. Jedním z možných přístupů je rozdělení interpolačních metod na deterministické a geostatistické. Deterministické metody jsou založeny na matematických vzorcích a patří mezi ně například metoda IDW (Inverse Distance Weight). Naopak geostatistické interpolační metody jako je například Kriging jsou založeny na statistických datech a používají se pro pokročilé modelování povrchu, neboť zajišťují větší přesnost dat pro analýzy (Childs, 2004).

Zvláštním příkladem interpolace jsou Thiessenovy polygony, které se řídí podle geometrického pravidla: pro každý polygon existuje právě jeden naměřený bod a všechny ostatní body uvnitř tohoto polygonu jsou k tomuto naměřenému bodu blíže než k naměřenému bodu kteréhokoliv jiného polygonu. Polygony jsou vytvořeny tak, že jsou určeny spojnice jednotlivých bodů a linie kolmé na střed těchto spojníc určují hranice polygonů. Slouží k vytvoření TIN (Sárközy, 1998).



Obr. 1: Thiessenovy polygony (Sárközy, 1998)

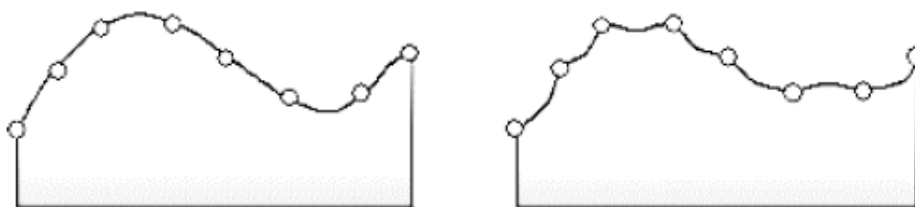
Metoda IDW je jednou z nejpoužívanějších exaktních metod při zpracování prostorových dat. Hodnota bodu, který je interpolován, je závislá na její inverzní vzdálenosti od jednotlivých sousedů. Tato hodnota je upravena parametrem, který je vypočten jako střední kvadratická chyba RMSE (viz kapitola 4.3). Parametr může nabývat různých hodnot. Pokud $p = 0$, s rostoucí vzdáleností se váha naměřených bodů nezvětšuje. Čím vyšší hodnota p je, tím vyšší bude váha vzdálených bodů. Dále je hodnota ovlivněna velikostí okolí bodu, ze kterého je hodnota v buňce interpolována, neboť s rostoucí vzdáleností body dosahují hodnot, které s hodnotou v bodě, jehož hodnota je interpolována, přímo nesouvisí. Rovněž tvar okolí bodu může ovlivňovat interpolaci, a je tak třeba uvážit, jaká vstupní data máme k dispozici a co má výstup interpolace prezentovat (ArcGIS Resources Centre, 2013).



Obr. 2: Určování vah vzdáleností jednotlivých bodů při interpolaci IDW (ArcGIS Resources Centre, 2013)

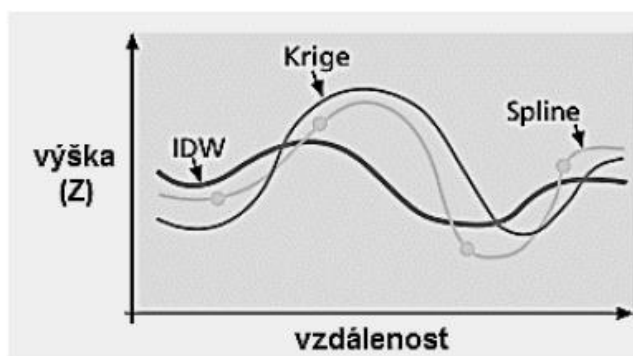
Spline je dalším příkladem exaktní interpolační metody, která na rozdíl od IDW umí vypočítat i vyšší nebo nižší hodnoty než hodnoty naměřených bodů, ze kterých interpolace vychází. Principem této metody je proložení matematické funkce jednotlivými body při zachování minimální křivosti. Výsledkem je vyhlazený povrch, který respektuje naměřené hodnoty v podobě bodů (Childs, 2004).

Spline přitom nabízí dva způsoby provedení své funkce. Tou první je možnost „regularized spline“, kde vyšším hodnotám je přiřazena určitá váha. Do interpolace tato váha vstupuje jako parametr τ (tau), jehož hodnota musí být větší nebo rovna nule (obvyklými hodnotami jsou 0; 0,001; 0,01; 0,1 a 0,5). Výsledkem „regularized spline“ je hladší povrch, než tomu je u možnosti „with tension“. Interpolací pomocí „spline with tension“ dostaneme poměrně hrubý povrch, který ovšem přesněji odpovídá kontrolním bodům, které využíváme při zjišťování chyby interpolace. Stejně jako u „regularized spline“ se při výpočtu využívá druhá mocnina parametru váhy vyšších hodnot, které musejí být větší nebo rovno nule (zde se využívají zejména hodnoty 0; 1; 5 a 10), kterou v případě této možnosti označujeme jako ϕ (ArcGIS Resources, 2016a).



Obr. 3: Porovnání interpolací pomocí Spline (vlevo) a IDW. (Johnston et al., 2013)

Kriging je metodou založenou na statistickém modelu, která může nabídnout poměrně přesné výsledky v případě, že je použita správně a má k dispozici dostatečný počet bodů pro výpočet. Metoda je podobná IDW v tom, že využívá váženou vzdálenost naměřených bodů od bodu interpolace a na základě toho derivuje hodnotu míst, pro které hodnoty nebyly naměřeny. Nicméně Kriging zároveň řeší celkové uspořádání zjištěných hodnot v prostoru a na základě korelace mezi těmito hodnotami upravuje interpolované hodnoty (Huisman & de By, 2009).



Obr. 4 Porovnání interpolačních metod IDW, Spline a Kriging (Childs, 2004)

Další interpolační metodou je metoda přirozeného souseda (Natural Neighbor), která při interpolaci využívá nejbližších bodů s naměřenými hodnotami k interpolovanému

bodů. Vypočítaná hodnota tak vždy leží v intervalu hodnot obklopujících daný bod. Výsledný rastr nevyvozuje trendy a nevytváří vrcholy, prohlubně, hřebeny nebo údolí, které nejsou přímo zahrnuty ve vstupních datech. Vytvořený povrch prochází všemi vstupními body, a je tedy hladký ve všech místech mimo samotnou vstupní bodovou vrstvu. (ArcGIS Resources, 2016a).

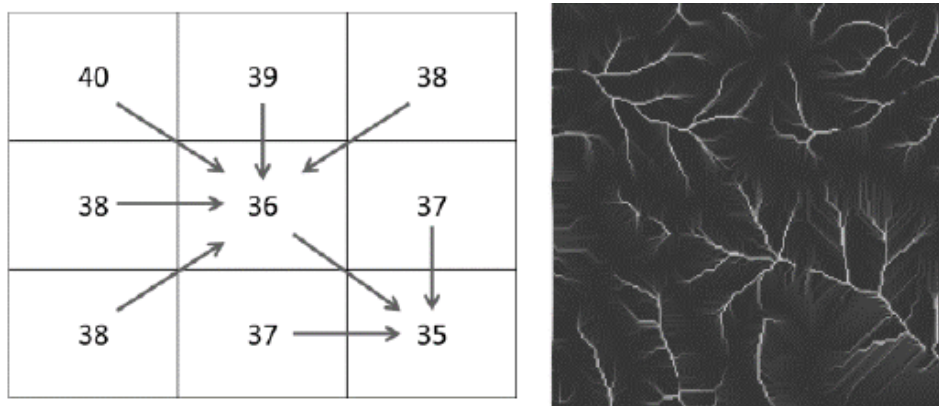
Jako poslední z interpolačních metod si uvedeme metodu Topo to Raster, která ze vstupní vrstvy bodových, liniových a polygonových vektorových dat vytváří hydrologicky správné výstupy v podobě rastru. V nastavení interpolace Topo to Raster v ArcGIS tato vektorová data lze rozřadit podle jejich zařazení v rámci topografických prvků: vrstevnice, výškové body, vodní toky, vodní plochy, hranice území, různé terénní deprese, útesy, břehy a prvky, které mají být z interpolace vyjmuty. Metoda spojuje výhody efektivity lokálních interpolačních metod (IDW) s výhodami kontinuity povrchů generovaných globálními interpolačními metodami, jako Kriging a Spline. (ArcGIS Resources, 2016a)

5.2 Určení směru odtoku

Jedním z nástrojů pro odvození hydrologických charakteristik povrchu je schopnost určit směr odtoku z každé buňky rastru. Tímto nástrojem v ESRI ArcGIS je nástroj zvaný *Flow Direction*.

Zdrojovým rastrem tohoto nástroje je digitální model zemského povrchu, který je hydrologicky přesný (DEM, DMT, případně z interpolačních metod je vhodný rastr získaný metodou Topo to Raster). Výstupem v případě, že zvolíme možnost „Output drop“, bude rastr, který reprezentuje směry odtoku z každé buňky na základě poměru výškových rozdílů mezi jednotlivými buňkami a vzdálenosti mezi středy buněk. Vzdálenost dvou diagonálně umístěných buněk je vypočítána jako $\sqrt{2}$, vzdálenost ortogonálních buněk je vždy rovna 1. Pokud zvolíme možnost „Force all edge cells to flow outward“, krajní buňky rastru budou vykazovat odtok směrem z rastru ven.

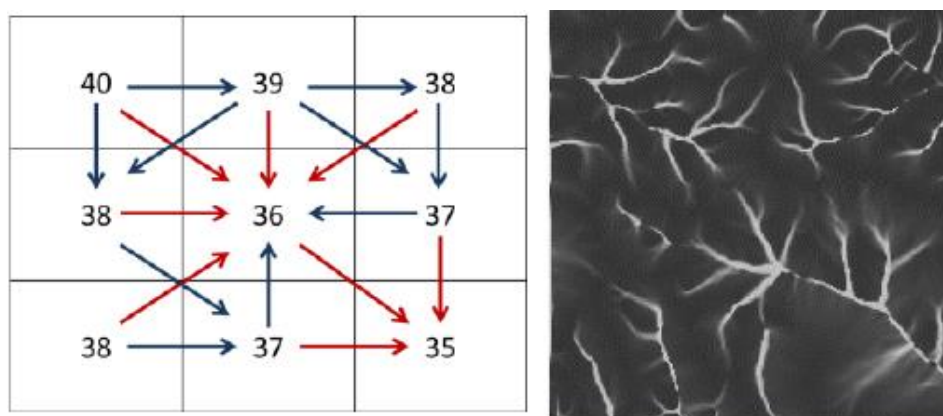
Každá buňka rastru (kromě krajních buněk) je obklopena osmi dalšími buňkami. Na základě této logiky existuje osm různých směrů, kudy odtok může procházet. Poté, co je proveden algoritmus výpočtu odtoku směru, je vytvořen nový rastr, ve kterém každá buňka nese kód označující směr, ve kterém z buňky původního rastru voda odtéká (Jenson & Domingue, 1988).



Obr. 5 Single Flow Direction (Cooper, 2013)

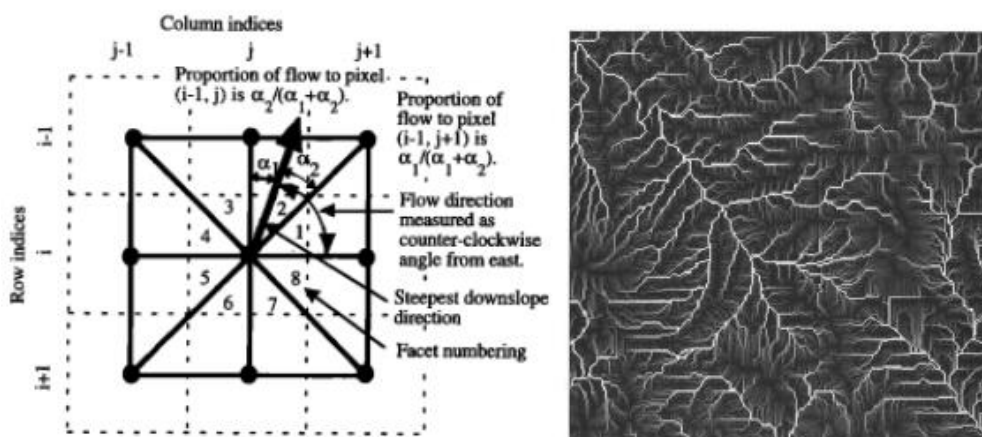
Pokud všechny sousední buňky mají vyšší hodnotu než daná buňka, a zároveň se tato buňka nenachází na okraji rastru nebo nesousedí s buňkou nesoucí hodnotu NoData, bude buňka vyhodnocena jako takzvaná „sink cell“, tedy buňka, ze které voda neodtéká. Stejným způsobem jsou označeny sousední buňky, z nichž povrchový odtok odtéká právě do buňky sousední. Tyto buňky by měly být identifikovány pomocí nástroje *Sink* před použitím funkce *Flow Direction*, abychom získali co nejpřesnější informaci o povrchovém odtoku v území (Jenson & Domingue, 1988).

Princip algoritmu Multiple Flow Direction je rozdílný od algoritmu Single Flow Direction v tom, že odtok z jedné buňky rastru neprobíhá pouze jedním směrem, ale dělí se do několika buněk, pokud okolní buňky nabývají nižších hodnot než buňka, ze které má odtok probíhat. Hodnotám okolních buněk jsou přiřazeny různé váhy, na základě kterých určujeme, kterým směrem bude odtok probíhat. Z obrázku je patrné, že pokud okolní buňky s nižší nadmořskou výškou nabývají různých hodnot, například hodnotíme buňku s výškou 38 metrů, vedle níž jsou buňky s hodnotami výšky 37 a 36 metrů, pak nižší hodnota má vyšší váhu, a jako směr odtoku je určena právě tato buňka (Cooper, 2013).



Obr. 6: Multiple Flow Direction (Cooper, 2013)

Kromě algoritmů odtoku, které obecně nazýváme metodami D8, existuje metoda D_{∞} , která není limitována tím, že odtok může probíhat pouze osmi možnými směry (Fairfield & Leymarie, 1991; Quinn et al., 1991). Směr odtoku je v případě D_{∞} proporcionálně rozdělen mezi sousední buňky podle toho, jak blízko je skutečný směr odtoku přímému směru do středu buňky (Tarboton, 1997).

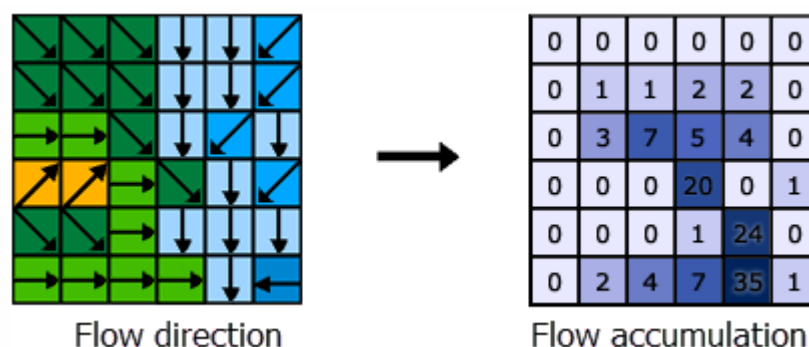


Obr. 7: D_{∞} Flow Direction (Tarboton, 1997)

Mezi každým bodem a osmi přiléhajícími body je vytvořeno osm trojúhelníkových rovinných úseků. Každý z těchto úseků má spádový vektor, který vychází ze středu plochy a jeho směr může spadat nebo vybočovat z 45stupňového rozpětí úseku. V případě, že spadá do úhlového rozsahu, reprezentuje nejstrmější směr toku v daném úseku. Pokud vybočuje z tohoto rozsahu, nejstrmější směr toku v daném úseku je uvažován podél nejstrmější hrany. Za směr odtoku přiřazený danému bodu je poté uvažován nejstrmější ze všech osmi spádových vektorů. V případě, že pro pixel neexistuje hodnota sklonu svahu (místo, jehož všechny okolní buňky mají vyšší nebo stejnou hodnotu), pixel je označen jako „unresolved“ (tedy jako nevyřešený). Pokud tato situace nastane, používá se metoda D8, která zajistí, že směr odtoku bude směřovat do místa s nižší hodnotou a nevzniknou tak různé nesrovnalosti (Tarboton, 1997).

5.3 Akumulace odtoku

Základní funkcí pro výpočet akumulace odtoku v prostředí ArcGIS je nástroj *Flow Accumulation*. Ten počítá akumulovaný odtok jako váhu všech buněk směřujících do každé buňky s nižší hodnotou. Pokud funkci neposkytneme rastr reprezentující váhy jednotlivých buněk, každé buňce je přiřazena hodnota 1. Hodnota ve výsledném rastru pak odpovídá počtu buněk, které do každé buňky směřují (Jenson & Domingue, 1988).



Obr. 8: Flow Accumulation (ArcGIS Resources Centre, 2013)

Stejně jako pro směr odtoku i pro akumulaci odtoku existují pokročilejší nástroje, které vedou k výsledkům, které se více přibližují skutečnosti.

Pro modelování erozních procesů se z těchto nástrojů může využívat Transport Limited Accumulation, neboť proces eroze je limitován množstvím půdy. Tato funkce pracuje s rastrem směru odtoku získaným metodou D_{∞} a s rastry reprezentujícími zásobu materiálu (v našem případě půdy), transportní kapacitu odtoku, případně i rastrem, který udává koncentraci látek v půdě. Výsledkem bude rastr vážené akumulace materiálu, který respektuje limity transportní kapacity půdy. (Tarboton, 2015).

5.4 Určení sklonu terénu

Mimo jiné funkce pro výpočet sklonu terénu, které budou zmíněny níže, existuje základní funkce *Slope*, která je defaultní funkcí v ArcGIS. Tato metoda je označována metodou ANS (average-neighbourhood slope). Cell-size ve výpočtech reprezentuje vzdálenost mezi jednotlivými body (Dunn & Hickey, 1998).

Pro každou buňku rastru nástroj Slope vyhodnocuje maximální míru rozdílnosti mezi hodnotou v buňce a hodnotami v okolních buňkách. Tam, kde je změna největší, je zároveň největší sklon svahu. Pro ilustraci výpočtu buňky označíme písmeny abecedy, kdy buňka vlevo nahoře bude „a“ a buňka vpravo dole „i“. Prostřední buňka pak bude označena písmenem „e“. Rozdíl (delta) v horizontálním (dZ/dX) a vertikálním směru (dZ/dY) od buňky uprostřed určuje, jak svah probíhá. Algoritmem pro výpočet sklonu terénu je:

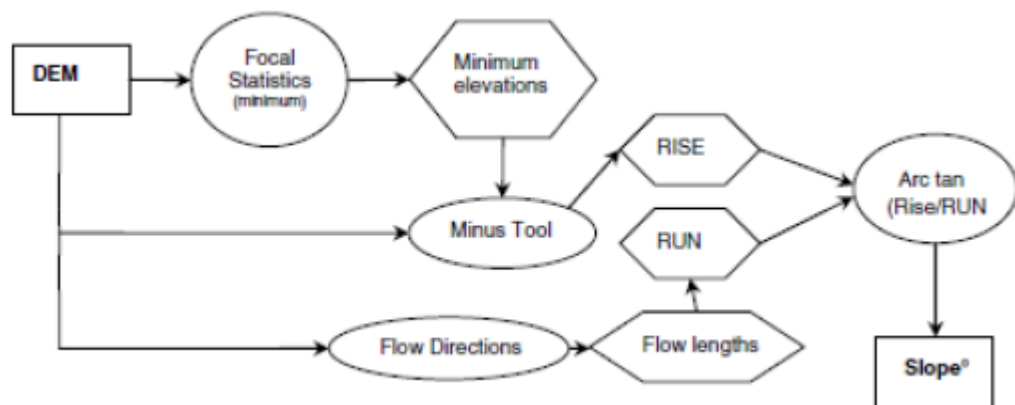
$$ANS („e“) = \tan^{-1} \left(\sqrt{\left(\frac{dZ}{dX}\right)^2 + \left(\frac{dZ}{dY}\right)^2} \right). \quad 13 \text{ (Dunn \& Hickey, 1998)}$$

Rozdíl v horizontálním směru (pro buňku „e“) se vypočítá jako $[(dX/dZ)=((c+2f+i)-(a+2d+g))/(8*x_cellsize)]$ a ve vertikálním směru jako $[(dZ/dY)=((g+2h+i)-(a+2b+c))/(8*y_cellsize)]$ (Burrough & McDonell, 1998).

Další metodou je metoda DHS (down-hill slope), která stejně jako předchozí metoda určuje sklon svahu z prostřední buňky (buňka „e“). Algoritmus pro výpočet sklonu je v tomto případě:

$$DHS („e“) = \tan^{-1} \left[\max \left(\frac{Z_e - Z_j}{L_j} \right) \right]. \quad 14 \text{ (Dunn \& Hickey, 1998)}$$

Z_e odpovídá nadmořské výšce v prostřední buňce, Z_j je hodnota nadmořské výšky té z okolních buněk, která má oproti prostřední buňce nejnižší hodnotu. L_j pro buňky v ortogonálním směru (b, d, h, f) odpovídá $x_cellsize$ a pro buňky v diagonálním směru (a, c, g, i) odpovídá hodnotě $\sqrt{2} * x_cellsize$ (Dunn & Hickey, 1998).



Obr. 9: Diagram výpočtu sklonu terénu metodou DHS v ArcGIS (Ashraf et al., 2012)

Metody porovnává Ashraf et al. (2012) na modelech terénu o různém rozlišení (1 m, 5 m, 10 m) vytvořených z LiDARových dat a na modelech terénu vytvořených z bodové vrstvy o rozlišení 1 m a 10 m. Hodnocení algoritmů zahrnovalo mimo jiné porovnání výsledků obou metod na stejném modelu terénu a porovnání výsledků napříč modely terénu. Hlavní rozdíly mezi metodami se projeví v místech směru odtoku, zejména na rastrech generovaných z dat s vysokým rozlišením, kdy rastry vypočtené metodou ANS dosahovaly obecně vyšších hodnot. Je to proto, že metoda ANS neřeší vliv samotné buňky, od které se svah odvozuje (buňka „e“), a tím vytváří chybné údaje o sklonech zejména právě v okolí linií povrchového odtoku. Z toho vyplývá, že metoda DHS je pro modely terénu s vysokou přesností vhodnější než metoda ANS.

5.5 Princip výpočtu topografického faktoru v GIS dle RUSLE

Hlavním předpokladem pro výpočet topografického faktoru v GIS jsou vhodná vstupní data, tedy digitální model terénu. To znamená především to, že uvnitř rastru by se neměla nacházet oblast, která nenabývá žádné hodnoty, takzvaná „NoData“ (Hickey et al., 1994).

Dalším krokem při výpočtu je stanovení směru odtoku (Flow Direction) a sklonitosti terénu (Slope). V případě, že počítáme délku svahu a akumulaci odtoku metodou D8, je vhodné určit bod přerušení povrchového odtoku. Tento bod je definován jako poměr sklonu svahu v buňce uprostřed 3x3 sousedství vůči sklonu svahu v buňce, která je zároveň buňkou směru odtoku. Délka svahu je pak na linii povrchového odtoku vymezena těmito body (Zhang et al., 2012).

Výpočet LS faktoru pak vychází z následujících výrazů, které McCool et al. (1989) stanovili pro výpočet topografického faktoru v RUSLE, který je popsán v kapitole 1.2.

Metodika

1. Příprava dat

V rámci této diplomové práce budou zpracována data zapůjčená Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním (dále jen ČÚZK), a to konkrétně DMR 4G, DMR 5G a ZABAGED výškopis 3D vrstevnice. Programem, ve kterém budou data zpracována, je ArcGIS od společnosti ESRI. Data od ČÚZK jsou doručena ve formátu XYZ, pokud se jedná o vrstvu DMR 4G a DMR 5G, v případě vrstevnic je možné zvolit formát SHP, se kterým dále v ArcGIS můžeme pracovat, nebo DNG.

Digitální model terénu z vrstev DMR 4G a DMR 5G vytvoříme převodem na TIN a následně z TIN na rastry v rozlišeních 1 metr, 5 metrů a 10 metrů. Různými rozlišeními digitálních modelů terénu dosáhneme rozdílných výsledků při stanovení topografického faktoru USLE – podrobnějším rozlišením dosáhneme toho, že při stanovení topografického faktoru bude hodnota ovlivněna lokálními nerovnostmi povrchu, a naopak u méně podrobného rozlišení může docházet k tomu, že výpočet bude ovlivněn chybějícími údaji o povrchu.

Stejně jako u dat DMR 4G a DMR 5G cílem přípravy vrstevnicových dat je vytvoření digitálního modelu terénu, nicméně výstupem zde budou rastry dva, a to rastr v rozlišení 5 metrů a rastr v rozlišení 10 metrů.

Z portálu Veřejného registru půdy LPIS získáme data půdních bloků příslušných katastrálních území Bžan, Lhenic u Bžan, Kostomlat pod Milešovkou a Žalan. Půdní bloky je dále třeba upravit, aby co nejlépe reflektovaly skutečnou situaci, zejména aby délka půdního bloku skutečně reprezentovala nepřerušenu délku povrchového odtoku a půdní blok odpovídal definici pozemku, pro který stanovujeme hodnotu ztráty půdy pomocí USLE. Úprava bude provedena na základě vlastního úsudku z leteckého snímku.

Protože se výpočet ztráty půdy erozí řeší z hlediska pozemku – erozně uzavřeného celku (Wischmeier & Smith, 1978), digitální modely terénu z dat DMR 4G, DMR 5G a vrstevnic ořízneme vrstvou upravených půdních bloků. Získáme tak výsledky pouze v místech, kde se zemědělská půda skutečně nachází.

2. Zpracování dat a výpočet LS faktoru

Určitou roli při výpočtu topografického faktoru bude hrát rozdílnost bodové vrstvy, která je podkladem pro digitální model terénu, ze kterého výpočet vychází. Zásadním rozdílem je vzdálenost mezi jednotlivými body a jejich množství. Tuto rozdílnost demonstrujeme porovnáním rastrů hustoty bodové sítě vrstev DMR 4G, DMR 5G a ZABAGED výškopis 3D vrstevnice. Pro účely tohoto porovnání je třeba převést liniovou vrstvu vrstevnic na vrstvu bodovou.

Abychom však mohli jednotlivé modely terénu porovnat, je vhodné jednotlivé rastry oříznout takovým způsobem, aby všechna místa nového území byla pokryta bodovou vrstvou původních dat. Jedině tak eliminujeme různé chyby, které vznikly interpolací dat v místech, kde území nebylo pokryto bodovou vrstvou. Rámec bude zvolen na základě vizuálního porovnání vstupních dat. Tento rámec bude vyznačen pomocí červené linie v rastru analýzy bodové vrstvy, aby bylo jeho umístění jednoznačné.

Přestože při srovnávání digitálních modelů terénu budeme pracovat v rámci výše zmiňovaného rámce, při srovnávání bodové zdrojových dat DMR 5G, DMR 4G a ZABAGED vrstevnice budeme porovnávat data kompletní. Analýza hustoty bodové sítě totiž nesrovnává statistické údaje společných znaků pro tato zdrojová data, ale pracuje s daty odděleně. Rastr hustoty bodové sítě získáme konverzí bodové vrstvy na základě počtu jednotlivých bodů na jednotku buňky; pro rozlišení rastru hustoty je vhodné použít několikanásobek hodnoty průměrné vzdálenosti mezi body, je však důležité tento údaj příliš nenadhodnotit, abychom mezery mezi body mohli

identifikovat. Tak získáme rastr s minimálním množstvím buněk, které nenesou žádnou informaci, a zároveň který má dostatečnou vypovídající hodnotu o hustotě bodové vrstvy. Pro účely této diplomové práce byla použita pětinašobná hodnota průměrné vzdálenosti mezi body ve zdrojové vrstvě dat DMR 4G a DMR 5G, v případě vrstvy ZABAGED výškopis byla zvolena hodnota dvojnásobku průměrné vzdálenosti mezi body.

Porovnání samotných digitálních modelů terénu bude provedeno nejprve dle statistických hodnot rastrů modelů terénu, kde nás bude zajímat, zda se hodnota nadmořské výšky liší s různým rozlišením při zachování stejného zdroje dat. Druhá část porovnání bude probíhat pomocí mapové algebry, kdy od sebe rastry digitálních modelů terénu o stejném rozlišení odečteme. Získáme tímto rastry:

- Rozlišení 1 m: [DEM-DMR 5G] – [DEM-DMR 4G]
- Rozlišení 5 m: [DEM-DMR 5G] – [DEM-DMR 4G]
[DEM-DMR 5G] – [DEM-ZABAGED-vrstevnice]
[DEM-DMR 4G] – [DEM-ZABAGED-vrstevnice]
- Rozlišení 10 m: [DEM-DMR 5G] – [DEM-DMR 4G]
[DEM-DMR 5G] – [DEM-ZABAGED-vrstevnice]
[DEM-DMR 4G] – [DEM-ZABAGED-vrstevnice]

Je pak možné detekovat místa s největším nárůstem a poklesem hodnoty nadmořské výšky, průměrný nárůst/pokles nadmořské výšky v rámci upraveného rámce rastru a směrodatnou odchylku. Ta určuje, do jaké míry jsou hodnoty rozptýleny mezi extrémními hodnotami. Ke zjištění, která místa vykazují největší hodnotu rozdílnosti vůči srovnávanému modelu terénu, je účelná klasifikace právě dle směrodatné odchylky.

Výpočet LS faktoru provedeme podle metodiky RUSLE, kdy vstupními rastry do výpočtu budou rastr sklonitosti terénu, rastr směru odtoku a rastr akumulace odtoku. Tento postup provedeme pro každý digitální model terénu zvlášť. Pro porovnání výsledků jednotlivých rastrů použijeme rámec půdních bloků, dle kterých byly hodnoty dílčích faktorů topografického faktoru oříznuty, abychom topografický faktor počítali v rámci erozně uzavřených celků. Hodnoty faktorů L, S a LS porovnáme obdobným způsobem, jako byly porovnány digitální modely terénu.

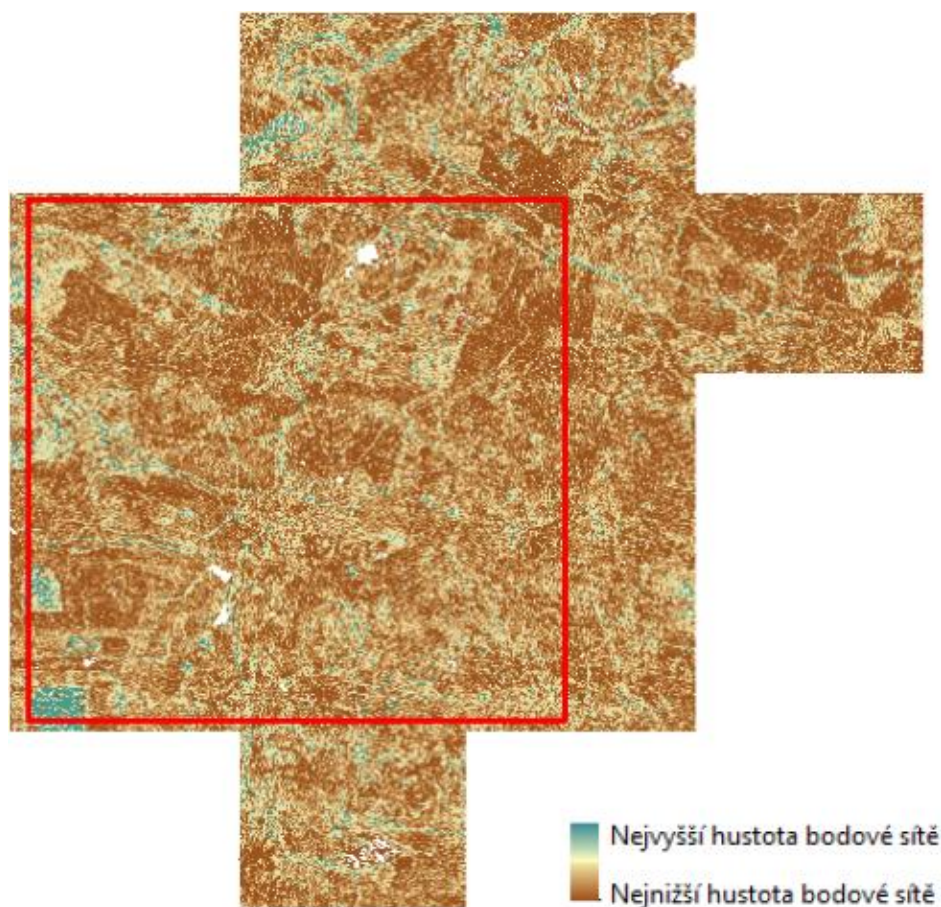
Opět tak získáme pro každý faktor zvlášť jeden rastr srovnání v rozlišení 1 m, tři rastry v rozlišení 5 m a tři rastry v rozlišení 10 m.

Nakonec provedeme porovnání výsledků LS faktoru tradiční metodou (USLE) a výsledků z předchozí analýzy na zvolených liniích povrchového odtoku. Linie budou zvoleny tak, aby na nich bylo možné demonstrovat případné rozdíly v hodnotách vypočteného topografického faktoru. Tyto linie získáme z digitálního modelu terénu vrstevnicových dat a přiměřeně upravíme jejich průběh podle směru povrchového odtoku odvozeného z modelů terénu dat DMR 5G a DMR 4G. Snažíme se docílit toho, aby linie měly různé délky a sklonitosti, aby se z výsledků případně daly vyvodit trendy týkající se určitých sklonů a délek nepřerušeno povrchového odtoku. Jako poslední část srovnáme četnost výskytu jednotlivých zdrojových DEM, které byly podkladem pro výpočet topografického faktoru v této práci. Na základě četnosti pak odvodíme, který zdroj dat a rozlišení vykazovaly větší množství shod s hodnotami USLE – které jsou vhodnější.

Výsledky a diskuse

V této kapitole budou uvedeny a diskutovány výsledky popsané v druhé části metodického postupu této diplomové práce. Bude se jednat o srovnání na úrovni bodové vrstvy (veškerá data), kde zároveň bude červenou barvou vyznačen rámeček pro srovnání na úrovni digitálního modelu terénu (v rámci tohoto rámce). Dále pak srovnání složek topografického faktoru na úrovni pozemků – graficky pak bude znázorněn pouze výřez části řešeného území, neboť při zobrazení celého území by méně výrazné rozdíly nebyly viditelné. Součástí oddílu topografického faktoru samozřejmě bude i grafické znázornění získaných hodnot tohoto faktoru včetně základních informací o této vrstvě. Nakonec budou uvedeny srovnány výsledky srovnání výpočtu topografického faktoru metodou USLE s výpočty získanými z digitálních modelů terénu generovaných z dostupných výškových dat.

1. Úroveň bodových vrstev

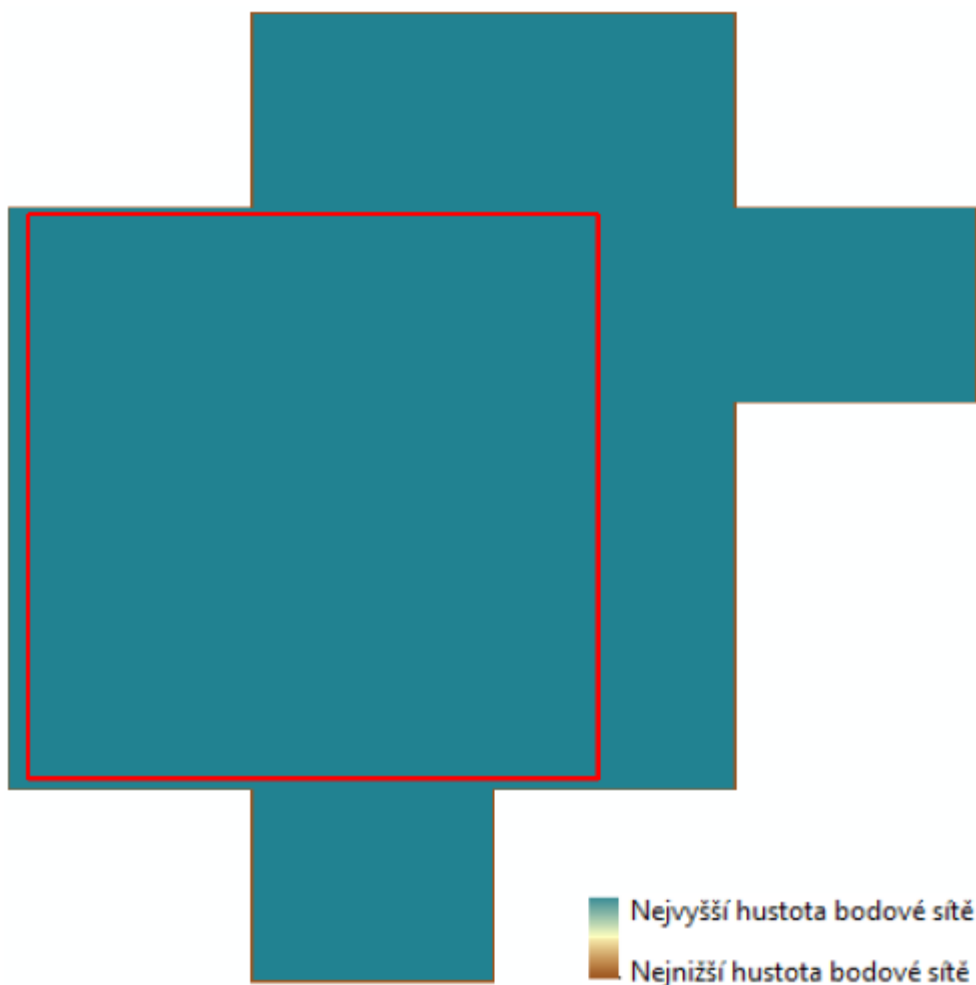


Obr. 10: Rastr hustoty bodů DMR 5G (vlastní, 2016)

Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

Průměrná vzdálenost mezi body DMR 5G uspořádanými do trojúhelníkové sítě (ČÚZK, 2016b) dosahuje hodnoty 2,75 metru. Jak již napovídá způsob rozmístění jednotlivých bodů, vzdálenost mezi jednotlivými body v síti je proměnlivá: celkově se v bodové síti vyskytovalo 13 různých hodnot vzdálenosti mezi body, z nichž nejnižší dosahovala hodnoty 2,5 metru a nejvyšší 2,99 metru.

Zdrojová bodová vrstva DMR 5G je tvořena 8654302 body. Za předpokladu, že by body byly rozmístěny v území rovnoměrně, na každou jednotku rastru o rozlišení pětinasobku průměrné vzdálenosti mezi body připadá 8,63 bodu. Standardní odchylka mezi hodnotami v rastru hustoty bodové sítě dosahuje hodnoty 6,06. Minimální hodnota v rastru představuje hustotu jednoho bodu na jednotku rastru, maximální hodnota hustoty bodové sítě je 60 bodů na jednotku rastru. Na rastrové reprezentaci hustoty si můžeme všimnout prázdných – bílých míst. Jsou to místa, která nebyla pokryta bodovou vrstvou. Na základě vizuálního porovnání s leteckým snímkem bylo zjištěno, že se jedná především o vodní plochy.

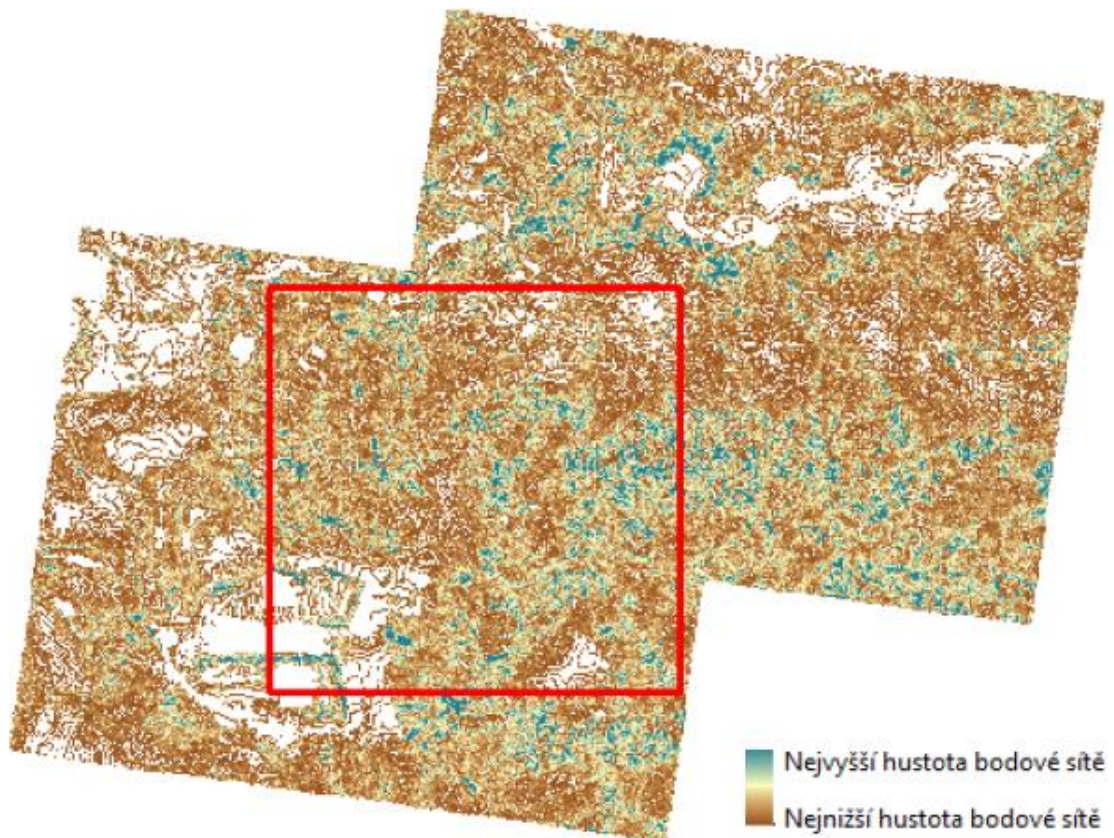


Obr. 11: Rastr hustoty bodů DMR 4G (vlastní, 2016)

Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

DMR 4G je na rozdíl od předchozího modelu naopak reprezentován body uspořádanými do pravidelné sítě (ČÚZK, 2016b), lze zde tedy očekávat stejné vzdálenosti mezi body zdrojové vrstvy. Zároveň pokud rastr reprezentující hustotu bodové sítě vykazuje rozdílné hodnoty hustoty, znamená to, že jsme zvolili příliš nízké rozlišení při konverzi bodové sítě dle způsobu uvedeného v metodice. Jediná místa, kde je hustota nižší než maximální hodnota, jsou okraje rastru. Z tohoto důvodu směrodatná odchylka zde dosahuje hodnoty pouhých 1,567.

ČÚZK (2016b) deklaruje, že DMR 4G je uspořádán do pravidelné sítě 5×5 metrů. Průměrná vzdálenost mezi jednotlivými body s hodnotou 4,989 metru se tak této deklarované hodnotě přibližuje. Maximální hustota tak dosahuje pětinasobku této hodnoty, minimální hustota bodové sítě na okraji této rastrové reprezentace má hodnotu 4 body na jednotku rastru.



Obr. 12: Rastr hustoty bodů ZABAGED výškopis 3D vrstevnice (vlastní, 2016)

Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

Na první pohled je zde patrné, že na rozdíl od dat DMR 4G a DMR 5G, vrstva ZABAGED – výškopis 3D vrstevnice zabírá odlišně velkou plochu území. Je to pravděpodobně dáno tím, že data v tomto případě jsou získávána vektorizací a zpřesněním již existujících dat (ČÚZK, 2016b), nikoliv měřeními. Bílé plochy, tedy oblasti nepokryté datovou vrstvou, ve vrstevnicové vrstvě mají společné to, že se jedná téměř rovinný terén. Jsou to místa, kde nedochází k výraznému lokálnímu nárůstu nadmořské výšky, a tak zde byla liniová vrstva vrstevnic více rozptýlena.

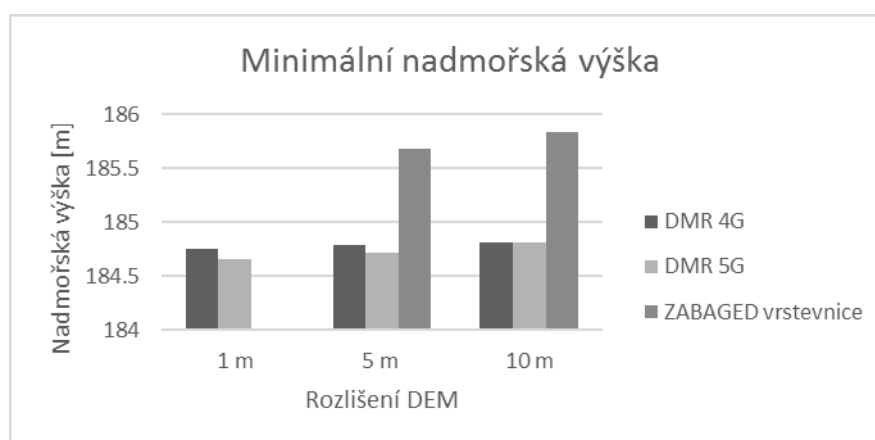
Po převedení liniových zdrojových vrstev hlavních a doplňkových vrstevnic (v intervalech 1, 2 a 5 m) na bodovou vrstvu bylo zjištěno, že průměrná vzdálenost mezi body se rovná 20,18 metru. Maximální hustota bodů s hodnotou 52 bodů na jednotku rastru je tak logicky v místech s výraznými změnami v nadmořské výšce. Průměrná hodnota dosahuje velikosti 4 bodů na jednotku rastru, směrodatná odchylka má hodnotu 3,04.

2. Úroveň digitálních modelů terénu

2.1 Srovnání minimální, maximální a průměrné hodnoty nadmořské výšky

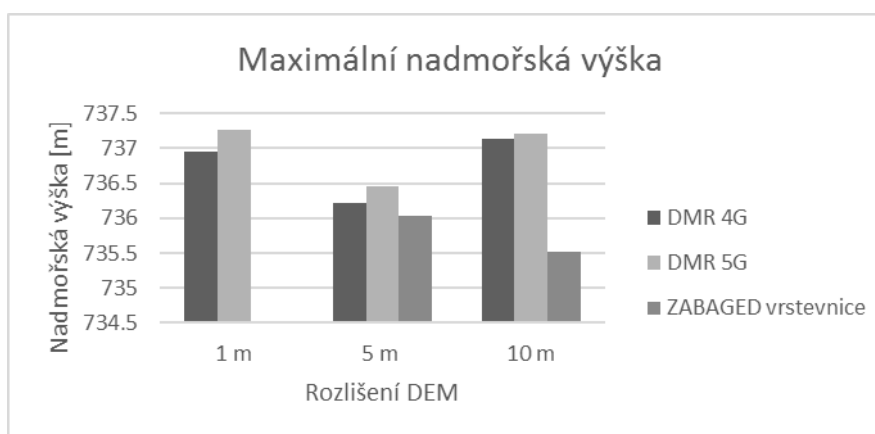
rozlišení rastru	DMR 4G			DMR 5G			ZABAGED vrstevnice	
	1 m	5 m	10 m	1 m	5 m	10 m	5 m	10 m
H_{min} [m]	184,753	184,79	184,81	184,658	184,717	184,815	185,686	185,833
H_{max} [m]	736,948	736,22	737,13	737,257	736,454	737,211	736,028	735,523
H_{mean} [m]	399,662	399,68	399,731	399,648	399,666	399,718	399,65	399,531

Tab. 1: Srovnání nadmořské výšky v získaných DEM (vlastní, 2016)



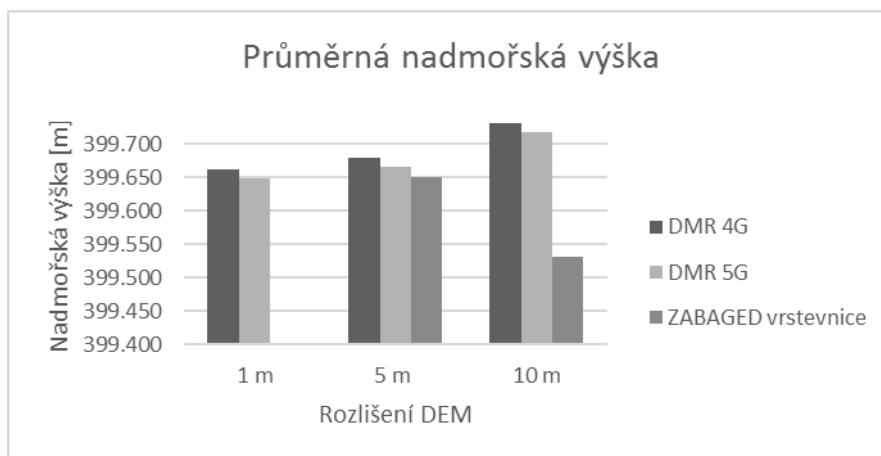
Obr. 13: Graf srovnání minimální nadmořské výšky v DEM (vlastní, 2016)

Ze srovnání je patrné, že hodnoty minimální nadmořské výšky v modelu terénu získaném interpolací z vrstevnicové vrstvy jsou vyšší než hodnoty modelů terénu z dat DMR 4G a DMR 5G. Dále je pak možné vysledovat, že s rostoucím rozlišením DEM klesá hodnota rozdílu mezi DMR 4G a DMR 5G, DMR 5G v rozlišení 10 metrů má dokonce minimální hodnotu nadmořské výšky vyšší.



Obr. 14: Graf srovnání maximální nadmořské výšky v DEM (vlastní, 2016)

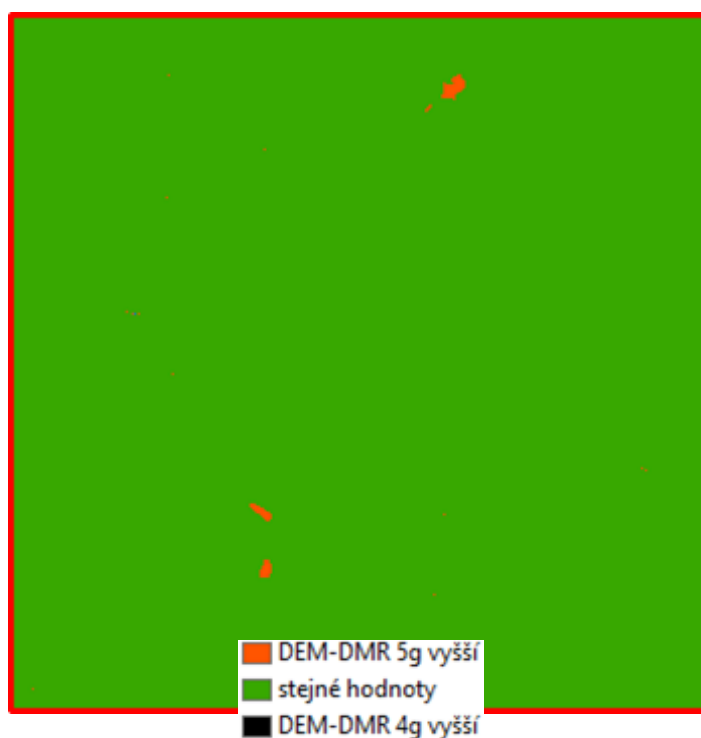
Na rozdíl od minimální nadmořské výšky jsou hodnoty maximální nadmořské výšky v DEM získaném z vrstevnicových dat nižší oproti DEM z dat DMR 4G a DMR 5G. Stejně jako v předchozím případě můžeme vidět tendence DMR 5G dorovnat hodnotu nadmořské výšky DMR 4G, tentokrát však dochází ke snižování hodnoty. Za povšimnutí stojí fakt, že při rozlišení 5 m jsou maximální hodnoty nižší než při rozlišení 1 m nebo 10 m. Také při tomto rozlišení vykazují DEM ze všech zdrojů nejmenších vzájemných rozdílů.



Obr. 15: Graf srovnání průměrné nadmořské výšky v DEM (vlastní, 2016)

U průměrných hodnot nadmořské výšky je pravidlem, že nejvyšší průměrné hodnoty při všech rozlišeních dosahuje DEM z dat DMR 4G, následuje jej DEM z dat DMR 5G a nejnižších průměrných hodnot dosahuje DEM z vrstevnicových dat. Nelze přehlédnout výrazný pokles průměrné hodnoty u posledního jmenovaného DEM při změně rozlišení z 5 m na 10 m.

2.2 Srovnání změn mezi DEM s rozlišením 1 m



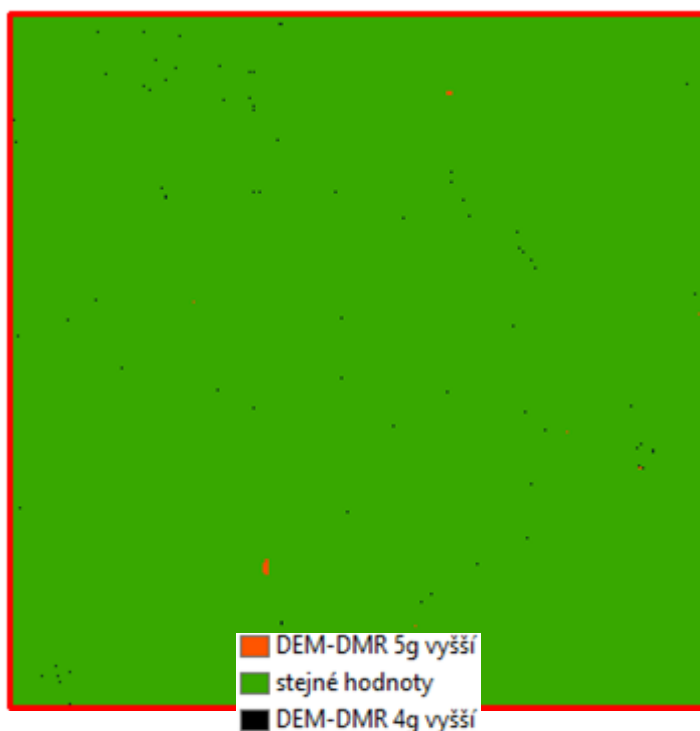
Obr. 16: Porovnání elevace v DEM DMR 5G/ DMR 4G v rozlišení 1 m (vlastní, 2016)
 Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

maximální hodnota navýšení oproti DMR 5G [m]	5,374
podíl buněk rastru s vyšší hodnotou nadmořské výšky oproti DMR 5G	0,001 %
maximální hodnota snížení oproti DMR 5G [m]	-13,64
podíl buněk rastru s nižší hodnotou nadmořské výšky oproti DMR 5G	0,162 %
podíl buněk rastru se stejnou hodnotou nadmořské výšky v obou rastrech	99,837 %
průměrný rozdíl [m]	0,023
směrodatná odchylka	0,115

Tab. 2: Srovnání DEM DMR 5G/DMR 4G v rozlišení 1 m (vlastní, 2016)

Ze srovnání vyplývá, že digitální model terénu z dat DMR 4G pouze v 0,001 % buněk rastru dosahuje vyšších hodnot nadmořské výšky oproti DEM získanému z DMR 5G. Stejně hodnoty nadmořské výšky oba rastry dosahují v 99,837 %. Maximální hodnota snížení elevace je více než dvojnásobná oproti maximální hodnotě navýšení vůči DEM z dat DMR 5G. Digitální model terénu z dat DMR 4G je v průměru o 0,023 metru vyšší než DEM-DMR 5G.

2.3 Srovnání změn mezi DEM s rozlišením 5 m



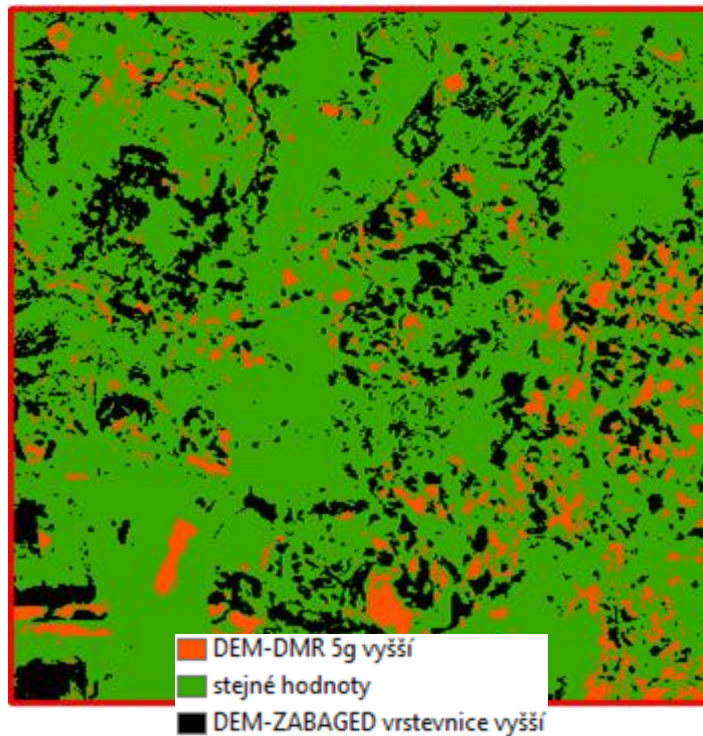
Obr. 17: Porovnání elevace v DEM DMR 5G/DMR 4G v rozlišení 5 m (vlastní, 2016)

Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

maximální hodnota navýšení oproti DMR 5G [m]	5,31
podíl buněk rastru s vyšší hodnotou nadmořské výšky oproti DMR 5G	0,057 %
maximální hodnota snížení oproti DMR 5G [m]	- 9,581
podíl buněk rastru s nižší hodnotou nadmořské výšky oproti DMR 5G	0,025 %
podíl buněk rastru se stejnou hodnotou nadmořské výšky v obou rastrech	99,918 %
průměrný rozdíl [m]	0,043
směrodatná odchylka	0,139

Tab. 3: Srovnání DEM DMR 5G/DMR 4G v rozlišení 5 m (vlastní, 2016)

Stejně jako při rozlišení 1 metr, i zde je vysoký podíl shodných hodnot (99,918 %); nicméně při rozlišení 5 m převažují buňky s vyšší hodnotou nadmořské výšky v rastru DEM-DMR 4G. Oproti většímu rozlišení však můžeme vyzorovat, že ačkoliv hodnota maxima je téměř stejná, hodnota minima je nižší. Je tomu tak proto, s nižším rozlišením se snižují rozdíly způsobené odchylkou ve vegetačním porostu, ale chyba způsobená absencí dat DMR 5G v místech vodních ploch je stále stejná. V průměru je pak DEM-DMR 4G o 4,3 cm vyšší.

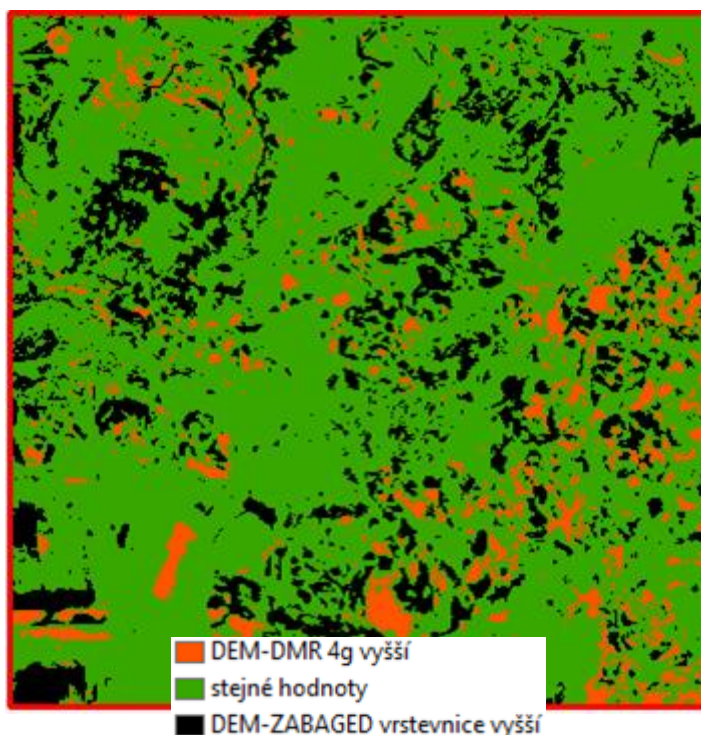


Obr. 18: Porovnání elevace v DEM DMR 5G/ZABAGED-vrstevnice v rozlišení 5 m (vlastní, 2016)
 Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

maximální hodnota navýšení oproti DMR 5G [m]	18,333
podíl buněk rastru s vyšší hodnotou nadmořské výšky oproti DMR 5G	17,747 %
maximální hodnota snížení oproti DMR 5G [m]	-22,183
podíl buněk rastru s nižší hodnotou nadmořské výšky oproti DMR 5G	7,766 %
podíl buněk rastru se stejnou hodnotou nadmořské výšky v obou rastroch	74,487 %
průměrný rozdíl [m]	-0,062
směrodatná odchylka	1,749

Tab. 4: Srovnání DEM DMR 5G/ZABAGED-vrstevnice v rozlišení 5 m (vlastní, 2016)

Při srovnání DEM z liniové vrstvy ZABAGED vrstevnice a DMR 5G můžeme pozorovat pokles podílu shodných hodnot nadmořské výšky oproti srovnání DMR 5G s DMR 4G. Šířka intervalu mezi extrémními hodnotami změn nadmořské výšky mezi rastry DEM-ZABAGED vrstevnice a DEM-DMR 5G přesahuje 40,5 m, zatímco při srovnání rastrů z dat DMR 4G a DMR 5G o stejném rozlišení byla hodnota variačního rozpětí 14,9 m, tedy hodnota více než 2,7násobně nižší. V průměru je DEM z vrstevnicových dat o 6,2 centimetru nižší. Zároveň můžeme pozorovat nárůst hodnoty směrodatné odchylky oproti rastrům DEM DMR 4G/DMR 5G. Znamená to, že rozdílné hodnoty jsou více rozptýleny mezi minimální a maximální hodnotou, než je tomu u DEM DMR 4G a DMR 5G.



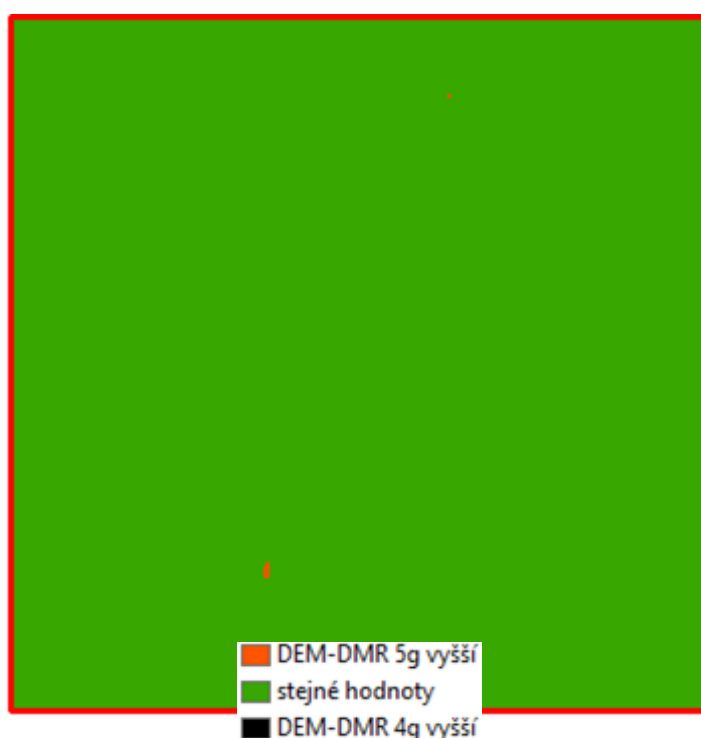
Obr. 19: Porovnání elevace v DEM DMR 4G/ZABAGED-vrstevnice v rozlišení 5 m (vlastní, 2016)
 Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

maximální hodnota navýšení oproti DMR 4G [m]	18,323
podíl buněk rastru s vyšší hodnotou nadmořské výšky oproti DMR 4G	17,185 %
maximální hodnota snížení oproti DMR 4G [m]	-18,105
podíl buněk rastru s nižší hodnotou nadmořské výšky oproti DMR 4G	7,655 %
podíl buněk rastru se stejnou hodnotou nadmořské výšky v obou rastroch	75,16 %
průměrný rozdíl [m]	-0,04
směrodatná odchylka	1,731

Tab. 5: Srovnání DEM DMR 4G/ZABAGED-vrstevnice v rozlišení 5 m (vlastní, 2016)

Obdobné informace se dají vyčíst ze srovnání DEM-ZABAGED vrstevnice a DEM-DMR 4G. Podíl buněk se stejnými hodnotami v obou rastroch reprezentace nadmořské výšky je nepatrně vyšší ve srovnání s rastroem DEM-DMR 5G srovnávaným s DEM-ZABAGED-vrstevnice. Protože hodnota maxima je téměř totožná s maximální hodnotou ve srovnání DEM z vrstevnicových dat s DEM-DMR 5G, můžeme usoudit, že tento extrém vznikl jako důsledek interpolace, nikoliv jako důsledek lokální absence dat bodové vrstvy, neboť bodová vrstva DMR 4G pokrývá celé území v pravidelné síti. V průměru DEM-DMR 4G převyšuje srovnávaný DEM o 4 centimetry. Stejně jako v předchozím srovnání jsou hodnoty rozdílu více rozptýleny mezi kladným a záporným extrémem.

2.4 Srovnání změn mezi DEM s rozlišením 10 m



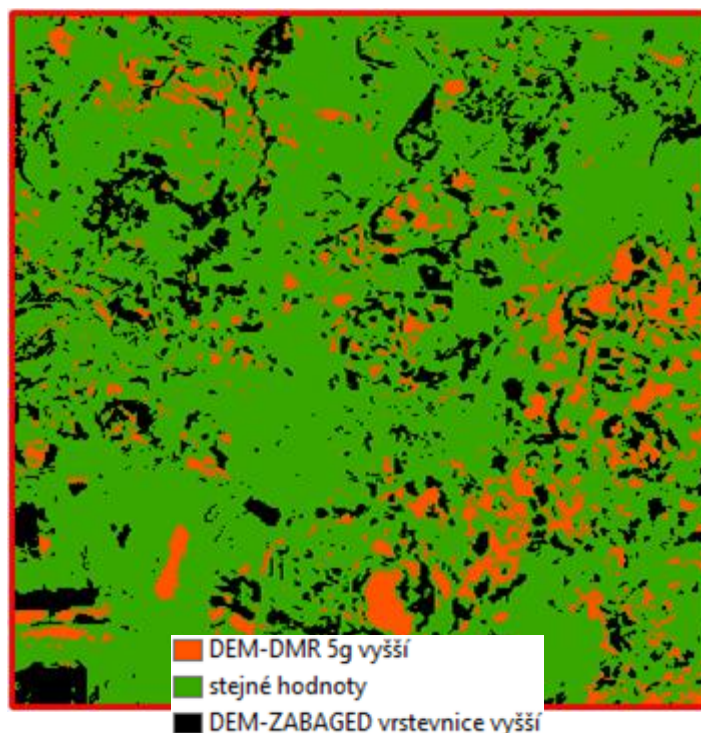
Obr. 20: Porovnání elevace v DEM DMR 5G/DMR 4G v rozlišení 10 m (vlastní, 2016)

Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

maximální hodnota navýšení oproti DMR 5G [m]	1,283
podíl buněk rastru s vyšší hodnotou nadmořské výšky oproti DMR 5G	0,001 %
maximální hodnota snížení oproti DMR 5G [m]	-2,889
podíl buněk rastru s nižší hodnotou nadmořské výšky oproti DMR 5G	0,023 %
podíl buněk rastru se stejnou hodnotou nadmořské výšky v obou rastrech	99,976 %
průměrný rozdíl [m]	0,022
směrodatná odchylka	0,083

Tab. 6: Srovnání DEM DMR 5G/DMR 4G v rozlišení 10 m (vlastní, 2016)

V porovnání s rastry stejného původu s vyšším rozlišením nelze přehlédnout fakt, že při rozlišení 10 m dosahuje podíl hodnot vyšších v DEM-DMR 4G stejně nízké hodnoty – 0,001 %. Tato plocha odpovídá 20 m² z celkové plochy rastru o rozloze 34,17 km². Dalším výrazným rozdílem oproti rastrům s vyšším rozlišením jsou hodnoty extrémů, které jsou poměrně nízké. Směrodatná odchylka při tomto rozlišení vykazuje nejnižší hodnotu mezi všemi srovnávanými rastry. Rozdíl v průměrné hodnotě je zde také velmi nízký, a to s hodnotou 2,2 cm, která je srovnatelná s průměrnou výškou při rozlišení 1 m, kdežto při rozlišení 5 m je tato hodnota téměř dvojnásobná.

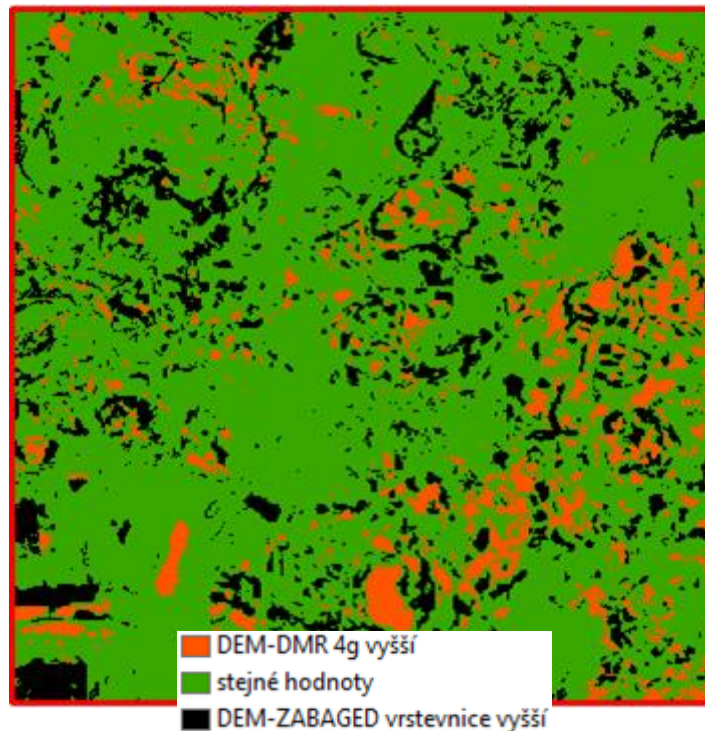


Obr. 21: Porovnání elevace v DEM DMR 5G/ZABAGED-vrstevnice v rozlišení 10 m (vlastní, 2016)
 Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

maximální hodnota navýšení oproti DMR 5G [m]	19,082
podíl buněk rastru s vyšší hodnotou nadmořské výšky oproti DMR 5G	14,363 %
maximální hodnota snížení oproti DMR 5G [m]	-19,473
podíl buněk rastru s nižší hodnotou nadmořské výšky oproti DMR 5G	9,056 %
podíl buněk rastru se stejnou hodnotou nadmořské výšky v obou rastroch	76,581 %
průměrný rozdíl [m]	-0,118
směrodatná odchylka	1,782

Tab. 7: Srovnání DEM DMR 5G/ZABAGED-vrstevnice v rozlišení 10 m (vlastní, 2016)

Pokud srovnáme tento rastr s rastrem, kde hodnotíme DEM-DMR 5G a DEM-DMR 4G, nejvýraznějším rozdílem je nárůst hodnoty kladného i záporného extrému. Stejně jako při rozlišení 5 m můžeme pozorovat pokles shody v nadmořské výšce vůči vzájemnému srovnání lidarových dat, avšak podíl shodných hodnot je v rozlišení 10 m vyšší (76,581 %) než ve vyšším rozlišení (74,487 %). Ve srovnání s rastrem reprezentujícím rozdíly DEM ze stejných zdrojových dat s vyšším rozlišením pozorujeme nárůst hodnoty rozdílu průměrné nadmořské výšky, a to z hodnoty 6,2 cm na hodnotu téměř dvojnásobnou – 11,8 cm. Nepatrný nárůst (1,89 %) nastal i u hodnoty směrodatné odchylky ve smyslu, že rozdílné hodnoty v obou rastroch jsou více rozptýleny mezi extrémními hodnotami.



Obr. 22: Porovnání elevace v DEM DMR 4G/ZABAGED-vrstevnic v rozlišení 10 m (vlastní, 2016)
 Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

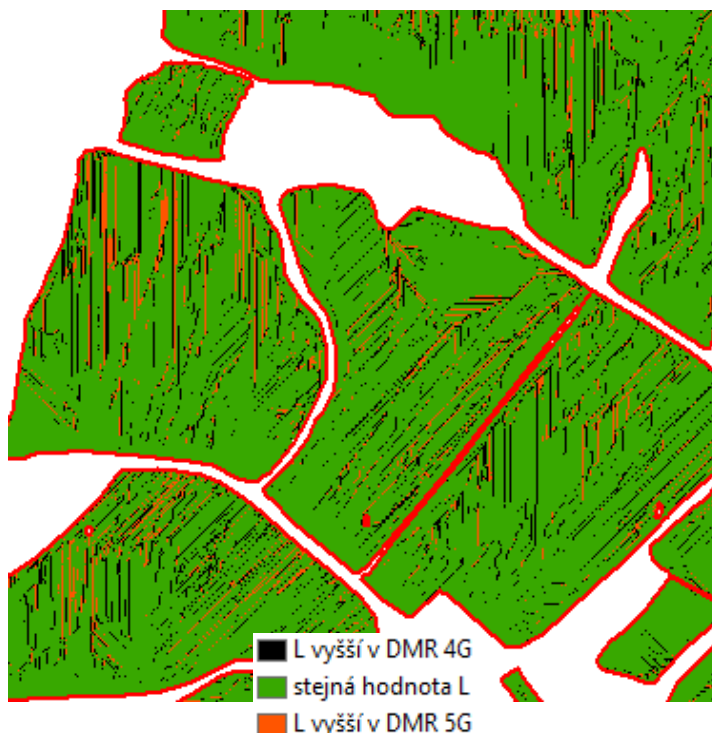
maximální hodnota navýšení oproti DMR 4G [m]	19,078
podíl buněk rastru s vyšší hodnotou nadmořské výšky oproti DMR 5G	14,148 %
maximální hodnota snížení oproti DMR 4G [m]	-19,537
podíl buněk rastru s nižší hodnotou nadmořské výšky oproti DMR 5G	9,18 %
podíl buněk rastru se stejnou hodnotou nadmořské výšky v obou rastroch	76,672 %
průměrný rozdíl [m]	-0,132
směrodatná odchylka	1,788

Tab. 8: Srovnání DEM DMR 4G/ZABAGED-vrstevnice v rozlišení 10 m (vlastní, 2016)

Stejně jako u vyššího rozlišení, rastr reprezentace rozdílu mezi DEM-DMR 4G a DEM ZABAGED-vrstevnice se příliš neliší od rastru zobrazujícího rozdíl mezi DEM-DMR 5G a DEM ZABAGED-vrstevnice. Taktéž zde můžeme pozorovat, že podíl buněk v rastru, které dosahují nižší hodnoty v DEM ZABAGED-vrstevnice, je vyšší než podíl buněk s vyšší hodnotou ve vztahu k DEM-DMR 4G. Podíl buněk se shodnou hodnotou nadmořské výšky dosahuje taktéž podobné hodnoty. Dochází zde však k určitému navýšení hodnoty rozdílu mezi průměrnými hodnotami v obou rastroch, a to z 4 centimetrů v rastru s rozlišením 5 m na hodnotu 13,2 centimetru v rastru s rozlišením 10 m, rozdíl je zde tak dokonce 3,3násobný. Opět dochází k mírnému zvětšení rozpětí hodnot mezi minimem a maximem.

3. LS faktor

3.1 L faktor

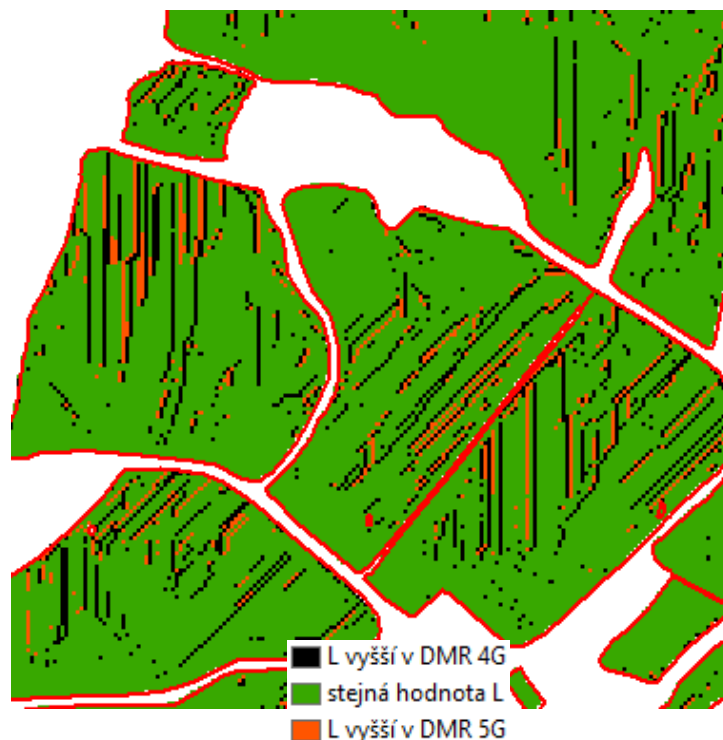


Obr. 25: Výřez srovnání L faktoru v DEM DMR 5G/DMR 4G v rozlišení 1 m (vlastní, 2016)
Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

krajní hodnota: L faktor DMR 5G > L faktor DMR 4G	81,799
podíl buněk, ve kterých má DEM-DMR 5G vyšší hodnotu faktoru L	4,698 %
krajní hodnota: L faktor DMR 4G > L faktor DMR 5G	-121,390
podíl buněk, ve kterých má DEM-DMR 4G vyšší hodnotu faktoru L	8,105 %
podíl buněk se stejnou hodnotou L faktoru v obou rastrech	87,197 %
průměrná změna	-0,241
směrodatná odchylka	1,964

Tab. 8: Srovnání L faktoru v DEM DMR 5G/DMR 4G v rozlišení 1 m (vlastní, 2016)

Na srovnání hodnot L faktoru vypočteného z rastrů DEM-DMR 5G a DMR 4G v rozlišení 1 m jsou výrazné zejména hodnoty krajních bodů, tedy maximální hodnoty, kdy L faktor dosahuje vyšší hodnoty v jednom nebo druhém rastru. Podíl buněk, kdy má L faktor stejnou hodnotu v obou srovnávaných rastrech dosahuje 87,197 %. Průměrná změna mezi L faktory v těchto dvou rastrech je -0,241, L faktor z DEM-DMR 4G je tedy v průměru větší o 0,241. Pozorujeme také nárůst hodnoty směrodatné odchylky: v porovnání s rastrem srovnávajícím nadmořské výšky stejných DEM jsou zde hodnoty více rozptýleny.



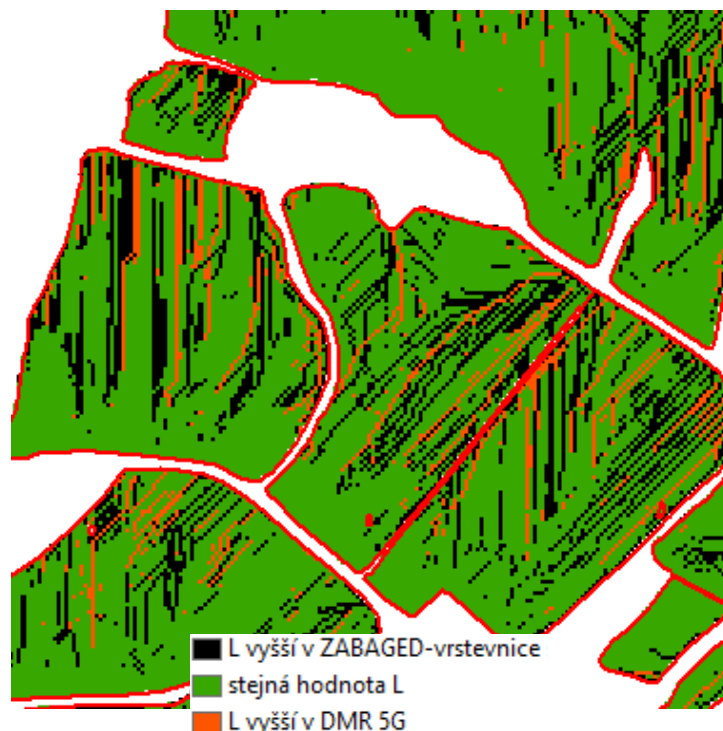
Obr. 26: Výřez srovnání L faktoru v DEM DMR 5G/DMR 4G v rozlišení 5 m (vlastní, 2016)

Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

krajní hodnota: L faktor DMR 5G > L faktor DMR 4G	38,365
podíl buněk, ve kterých má DEM-DMR 5G vyšší hodnotu faktoru L	4,045 %
krajní hodnota: L faktor DMR 4G > L faktor DMR 5G	-39,998
podíl buněk, ve kterých má DEM-DMR 4G vyšší hodnotu faktoru L	8,263 %
podíl buněk se stejnou hodnotou L faktoru v obou rastroch	87,692 %
průměrná změna	-0,073
směrodatná odchylka	1,451

Tab. 9: Srovnání L faktoru v DEM DMR 5G/DMR 4G v rozlišení 5 m (vlastní, 2016)

Ve srovnání s výsledkem porovnání stejného rastru ve vyšším rozlišení zde vidíme pokles hodnot krajních bodů, navíc tyto hodnoty jsou více vyrovnané. Stejně tak jsou hodnoty podílu buněk, ve kterých má jeden nebo druhý rastr vyšší hodnoty faktoru L, jsou více vyrovnané. Ve srovnání s rastrem vyššího rozlišení pozorujeme nepatrný nárůst podílu buněk se stejnou hodnotou L faktoru v obou rastroch. Rastr L faktoru z dat DMR 4G nese vyšší hodnoty v 8,263 %, zatímco rastr z DMR 5G má vyšší hodnoty L faktoru v 4,045 % buněk srovnávacího rastru. To, že hodnoty L faktoru v rastru z dat DMR 4G jsou vyšší, dokazuje průměrná hodnota, která dosahuje hodnoty -0,073.

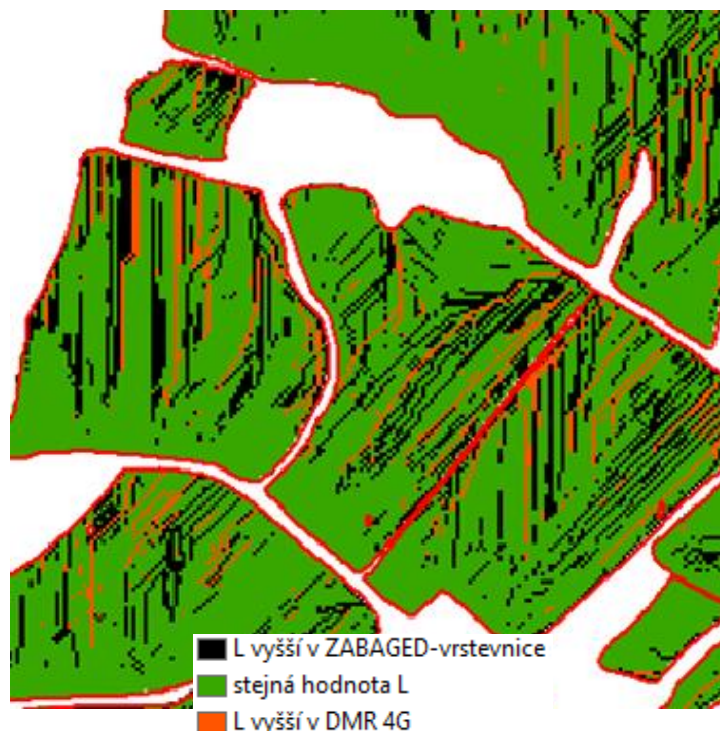


Obr. 27: Výřez srovnání L faktoru v DEM DMR 5G/ZABAGED-vrstevnice v rozlišení 5 m (vlastní, 2016)
 Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

krajní hodnota: L faktor DMR 5G > L faktor ZABAGED-vrstevnice	40,299
podíl buněk, ve kterých má DEM-DMR 5G vyšší hodnotu faktoru L	5,646 %
krajní hodnota: L faktor ZABAGED-vrstevnice > L faktor DMR 5G	-44,404
podíl buněk, ve kterých má DEM-ZABAGED vrstevnice vyšší hodnotu faktoru L	17,409 %
podíl buněk se stejnou hodnotou L faktoru v obou rastroch	76,945 %
průměrná změna	-0,274
směrodatná odchylka	1,941

Tab. 10: Srovnání L faktoru v DEM DMR 5G/ZABAGED-vrstevnice v rozlišení 5 m (vlastní, 2016)

V porovnání s rozdílem rastrů L faktoru DMR 5G a 4G ve stejném rozlišení pozorujeme mírný nárůst hodnot krajních bodů a poměrně dramatické snížení podílu buněk v rastru, kde jsou hodnoty faktoru L stejné (rozdíl více než 10%). Protože podíl buněk, kdy rastr L faktoru odvozený z vrstevnicových dat dosahuje takřka trojnásobné hodnoty ve srovnání s podílem buněk, ve kterých dosahuje vyšších hodnot rastr z DMR 5G, dá se očekávat, že průměrná hodnota L faktoru je vyšší v rastru z DEM-ZABAGED-vrstevnice, a to o 0,274. Tato hodnota je téměř čtyřnásobná ve srovnání s průměrnou hodnotou v rastru srovnávající rastry reprezentace L faktoru z dat DMR 5G a DMR 4G ve stejném rozlišení. Rovněž hodnota směrodatné odchylky je zde vyšší, nejedná se však o tak dramatický nárůst v hodnotě.

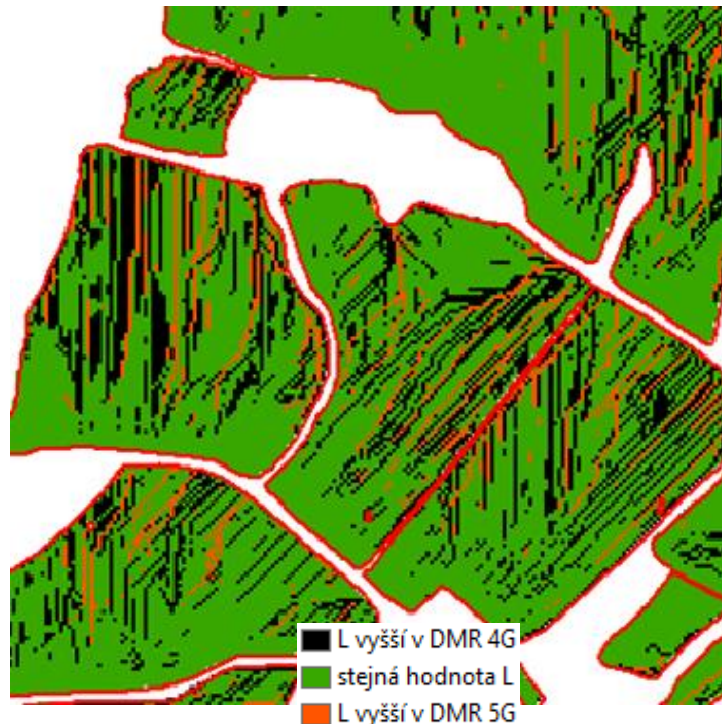


Obr. 28: Výřez srovnání L faktoru v DEM DMR 4G/ZABAGED-vrstevnice v rozlišení 5 m (vlastní, 2016)
 Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

krajní hodnota: L faktor DMR 4G > L faktor ZABAGED-vrstevnice	42,938
podíl buněk, ve kterých má DEM-DMR 4G vyšší hodnotu faktoru L	6,079 %
krajní hodnota: L faktor ZABAGED-vrstevnice > L faktor DMR 4G	-44,404
podíl buněk, ve kterých má DEM-ZABAGED vrstevnice vyšší hodnotu faktoru L	19,891 %
podíl buněk se stejnou hodnotou L faktoru v obou rastrech	74,03 %
průměrná změna	-0,326
směrodatná odchylka	1,991

Tab. 11: Srovnání L faktoru v DEM DMR 4G/ZABAGED-vrstevnice v rozlišení 5 m (vlastní, 2016)

Tendence předchozího rastru reprezentace srovnání L faktoru podporuje rastr, kde srovnáváme hodnoty L faktoru v rastrech generovaných z DEM-DMR 4G a DEM-ZABAGED-vrstevnice. Z toho můžeme usoudit, že tato maximální hodnota vzniká pouze v datech původu vrstevnicového typu, neboť přestože jsou bodové vrstvy DMR 4G a DMR 5G rozdílné a generují rozdílné DEM. Mohlo by se tedy jednat o chybu způsobenou interpolací pomocí metody Topo to Raster. Zatímco průměrná hodnota L faktoru byla vůči DMR 5G – DMR 4G 3,75násobná při srovnání DMR 5G a ZABAGED-vrstevnice, zde je dokonce 4,5násobná. Hodnota směrodatné odchylky je téměř totožná s hodnotou tohoto údaje v rastru srovnávajícím hodnoty L faktoru z DEM-DMR 5G a DEM-ZABAGED vrstevnice.

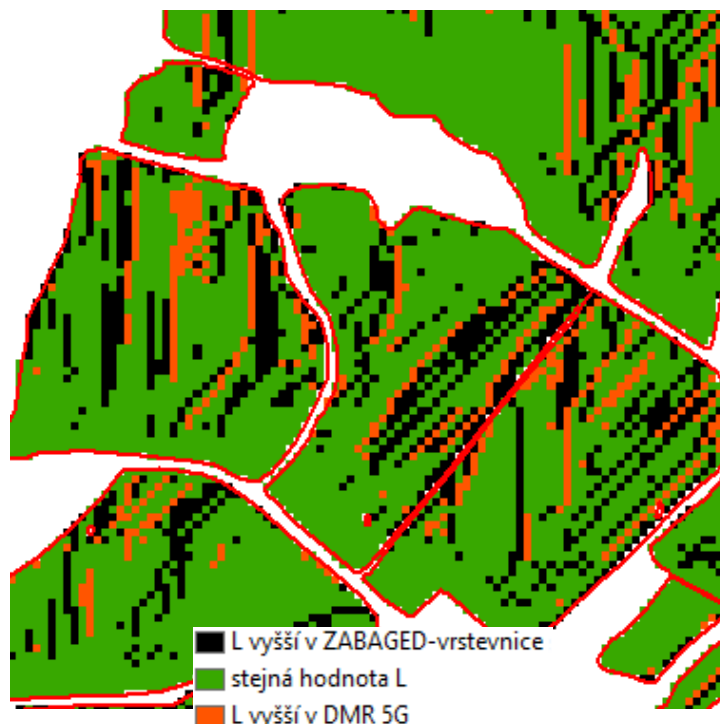


Obr. 29: Srovnání L faktoru v DEM DMR 5G/DMR 4G v rozlišení 10 m (vlastní, 2016)
 Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

krajní hodnota: L faktor DMR 5G > L faktor DMR 4G	23,670
podíl buněk, ve kterých má DEM-DMR 5G vyšší hodnotu faktoru L	0,601 %
krajní hodnota: L faktor DMR 4G > L faktor DMR 5G	-24,579
podíl buněk, ve kterých má DEM-DMR 4G vyšší hodnotu faktoru L	1,619 %
podíl buněk se stejnou hodnotou L faktoru v obou rastroch	97,78 %
průměrná změna	-0,158
směrodatná odchylka	0,564

Tab. 12: Srovnání L faktoru v DEM DMR 5G/DMR 4G v rozlišení 10 m (vlastní, 2016)

V porovnání s výsledkem porovnání stejných rastrů (DMR 5G a DMR 4G) ve vyšším rozlišení zde opět vidíme pokles hodnot krajních bodů, hodnoty jsou vyrovnané podobně jako tomu bylo u rozlišení 5 m. Dramaticky vzrostl podíl buněk, ve kterých oba rastry mají stejnou hodnotu faktoru délky svahu (o více než 10 % z rozlišení 5 m na rozlišení 10 m). Stejně jako v předchozích dvou případech (rozlišení 1 m a 5 m) zjišťujeme, že průměrný rozdíl dosahuje záporné hodnoty – tedy rastr reprezentace L faktoru generovaný z DMR 4G dosahuje průměrně vyšších hodnot než ten, který má původ v DMR 5G. Hodnota směrodatné odchylky je v rozlišení 10 m nejnižší, a to s hodnotou 0,564.

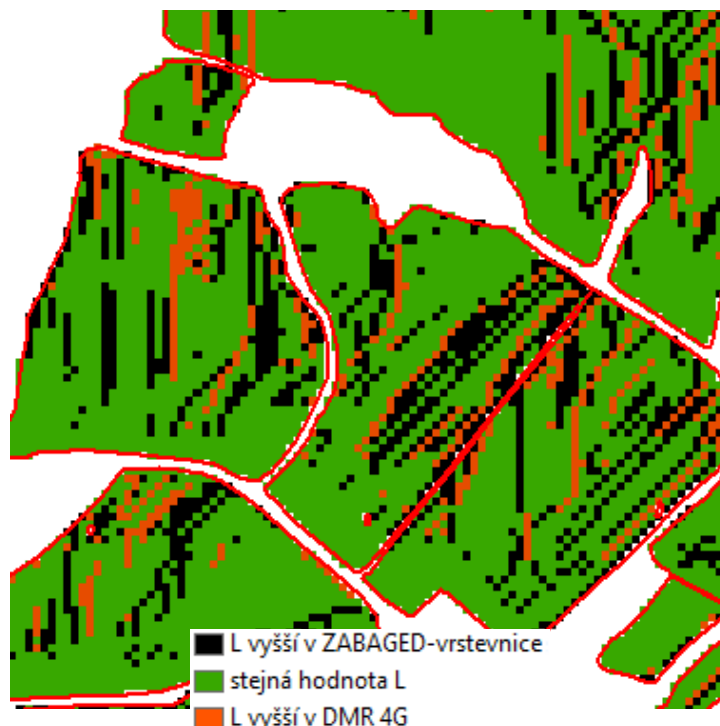


Obr. 30: Výřez srovnání L faktoru v DEM DMR 5G/ZABAGED-vrstevnice v rozlišení 10 m (vlastní, 2016)
 Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

krajní hodnota: L faktor DMR 5G > L faktor ZABAGED-vrstevnice	26,144
podíl buněk, ve kterých má DEM-DMR 5G vyšší hodnotu faktoru L	6,371 %
krajní hodnota: L faktor ZABAGED-vrstevnice > L faktor DMR 5G	-29,177
podíl buněk, ve kterých má DEM-ZABAGED vrstevnice vyšší hodnotu faktoru L	18,236 %
podíl buněk se stejnou hodnotou L faktoru v obou rastroch	75,393 %
průměrná změna	-0,21
směrodatná odchylka	1,848

Tab. 13: Srovnání L faktoru v DEM DMR 5G/ZABAGED-vrstevnice v rozlišení 10 m (vlastní, 2016)

Stejně jako v rastru v rozlišení 5 m, kde jsou srovnávány údaje z rastrů reprezentujících hodnoty faktoru L pocházejících ze stejných DEM, je menší podíl buněk s vyšší hodnotou L faktoru v rastru reprezentace tohoto faktoru z dat DMR 5G. Můžeme vůči rozlišení 5 m pozorovat mírný pokles shodných hodnot L faktoru. Trend, který byl zjištěn v datech lidarového původu (se snížením rozlišení vzrůstá podíl buněk se stejnou hodnotou), zde neplatí. Krajní hodnoty jsou ve srovnání se stejným rastrem nižší, a to s hodnotami 26,144 a -29,177. Průměrná hodnota je o trochu nižší, nicméně fakt, že rastr L faktoru z dat ZABAGED-vrstevnice je v průměru vyšší, je zachován i v rozlišení 10 m. Hodnoty jsou ve srovnání s rastrem o rozlišení 5 m mezi krajními body o trochu méně rozptýleny.



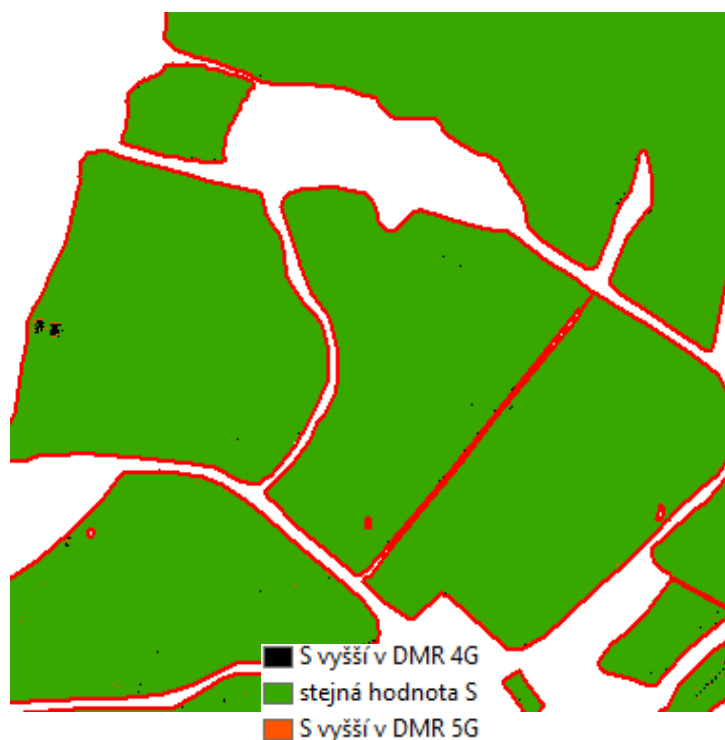
Obr. 31: Výřez srovnání L faktoru v DEM DMR 4G/ZABAGED-vrstevnice v rozlišení 10 m (vlastní, 2016)
 Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

krajní hodnota: L faktor DMR 4G > L faktor ZABAGED-vrstevnice	26,191
podíl buněk, ve kterých má DEM-DMR 4G vyšší hodnotu faktoru L	6,476 %
krajní hodnota: L faktor ZABAGED-vrstevnice > L faktor DMR 4G	-29,177
podíl buněk, ve kterých má DEM-ZABAGED vrstevnice vyšší hodnotu faktoru L	18,261 %
podíl buněk se stejnou hodnotou L faktoru v obou rastrech	75,263 %
průměrná změna	-0,203
směrodatná odchylka	1,857

Tab. 14: Srovnání L faktoru v DEM DMR 4G/ZABAGED-vrstevnice v rozlišení 10 m (vlastní, 2016)

Ve srovnání se stejným rastrem, kde místo porovnávání L faktoru z dat ZABAGED-vrstevnice k L faktoru z dat DMR 4G přirovnáváme stejný rastr k rastru L faktoru z dat DMR 5G, pozorujeme, že hodnoty – až na malé výjimky – jsou shodné. Stejná tendence byla pozorována i u totožných srovnávacích rastrů s vyšším rozlišením. To v podstatě znamená, že ačkoliv vzájemné porovnání rastrů L faktoru z DEM-DMR 4G a DEM-DMR 5G ukazuje, že L faktor ve zmiňovaných rastrech dosahuje téměř stejných hodnot, ve srovnání s vrstevnicovými daty se procento shody vždy pohybuje okolo 75 % navzdory rozlišení. Tato skutečnost tak podporuje myšlenku již vyslovenou při porovnání rastrů s rozlišením 5 m, a to tu, že by se mohlo jednat o vliv interpolace pomocí metody Topo to Raster.

3.2 S faktor

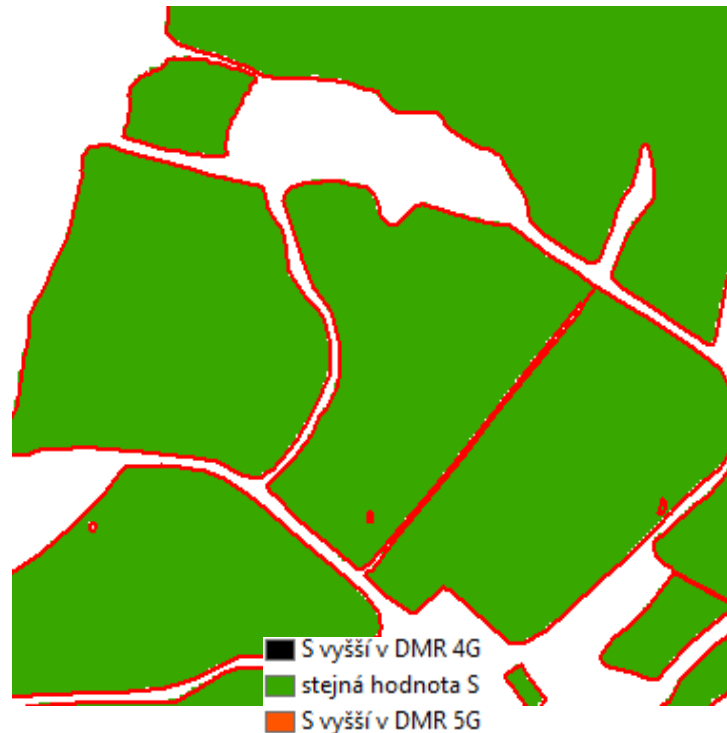


Obr. 32: Výřez srovnání S faktoru v DEM DMR 5G/DMR 4G v rozlišení 1 m (vlastní, 2016)
Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

krajní hodnota: S faktor DMR 5G > S faktor DMR 4G	6,987
podíl buněk, ve kterých má DEM-DMR 5G vyšší hodnotu faktoru S	0,841 %
krajní hodnota: S faktor DMR 4G > S faktor DMR 5G	-6,775
podíl buněk, ve kterých má DEM-DMR 4G vyšší hodnotu faktoru S	0,791 %
podíl buněk se stejnou hodnotou S faktoru v obou rastrech	98,368 %
průměrná změna	-0,034
směrodatná odchylka	0,212

Tab. 15: Srovnání S faktoru v DEM DMR 5G/DMR 4G v rozlišení 1 m (vlastní, 2016)

Na rozdíl od L faktoru hodnoty faktoru sklonu svahu vypočteného z rastrů DEM-DMR 5G a DMR 4G v rozlišení 1 m dosahují krajní body výrazně menších hodnot. Další změnou je mírný pokles shody mezi hodnotou příslušného faktoru v obou srovnávaných rastrech. Průměrná hodnota S faktoru je vyšší v rastru vypočteném z dat DMR 4G, který v průměru dosahuje vyšší nadmořské výšky než DEM-DMR 5G. Míra rozložení hodnot mezi krajními body je zde více než devítinásobně násobně nižší než u faktoru L.



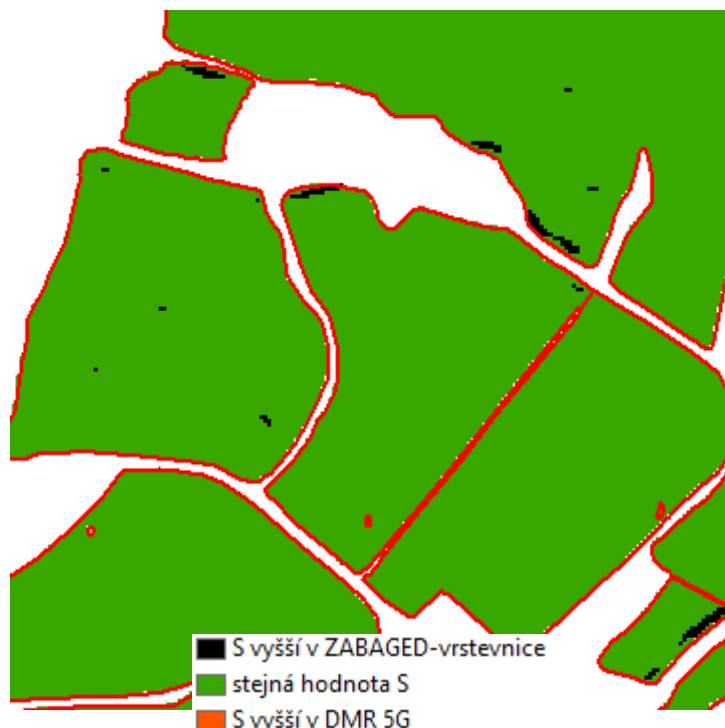
Obr. 33: Výřez srovnání S faktoru v DEM DMR 5G/DMR 4G v rozlišení 5 m (vlastní, 2016)

Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

krajní hodnota: S faktor DMR 5G > S faktor DMR 4G	2,415
podíl buněk, ve kterých má DEM-DMR 5G vyšší hodnotu faktoru S	0,012 %
krajní hodnota: S faktor DMR 4G > S faktor DMR 5G	-1,144
podíl buněk, ve kterých má DEM-DMR 4G vyšší hodnotu faktoru S	0,003 %
podíl buněk se stejnou hodnotou S faktoru v obou rastrech	99,985 %
průměrná změna	-0,008
směrodatná odchylka	0,093

Tab. 16: Srovnání S faktoru v DEM DMR 5G/DMR 4G v rozlišení 5 m (vlastní, 2016)

Stejně jako pozorujeme změnu ve shodě mezi hodnotami S faktoru v obou srovnávaných rastrech (je vyšší, téměř 100%), změnily se hodnoty krajních bodů, které jsou několikanásobně nižší než krajní hodnoty v rastru vyjadřujícím rozdíl stejných dvou rastrů s rozlišením 1 m. Rozdíl mezi sklonitostními rastry DEM-DMR 5G a DEM-DMR 4G vykazuje, že průměrná hodnota je o 0,008 vyšší v rastru sklonitosti z dat DMR 4G, což je 4,25násobně nižší hodnota než v rastru s rozlišením 1 m. Také hodnoty jsou v tomto rozdílovém rastru jsou méně rozptýleny než v rastru vyššího rozlišení.



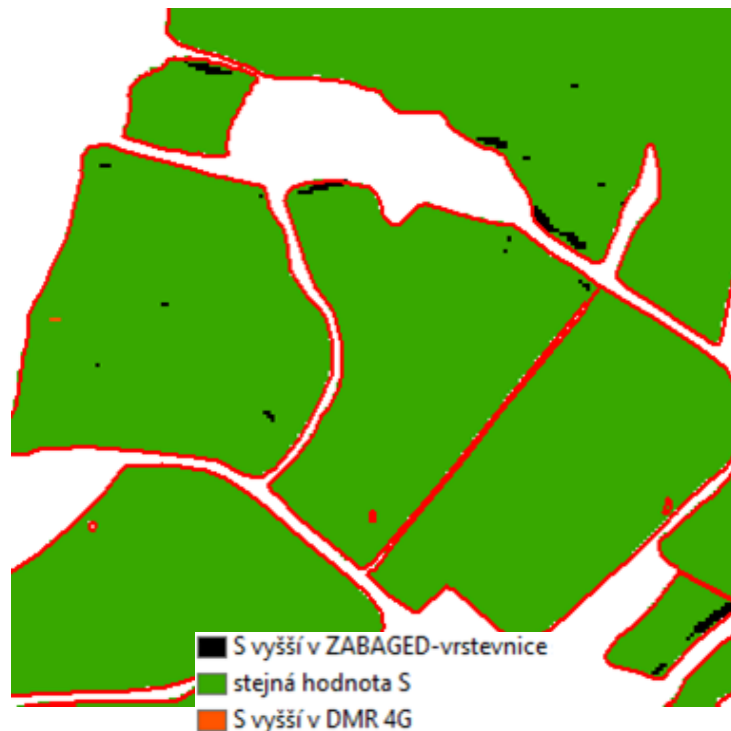
Obr. 34: Výřez srovnání S faktoru v DEM DMR 5G/ZABAGED-vrstevnice v rozlišení 5 m (vlastní, 2016)

Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

krajní hodnota: S faktor DMR 5G > S faktor ZABAGED-vrstevnice	4,672
podíl buněk, ve kterých má DEM-DMR 5G vyšší hodnotu faktoru S	0,044 %
krajní hodnota: S faktor DMR ZABAGED-vrstevnice > S faktor DMR 5G	-4,153
podíl buněk, ve kterých má DEM-ZABAGED-vrstevnice vyšší hodnotu faktoru S	1,619 %
podíl buněk se stejnou hodnotou S faktoru v obou rastroch	98,337 %
průměrná změna	-0,03
směrodatná odchylka	0,398

Tab. 17: Srovnání S faktoru v DEM DMR 5G/ZABAGED-vrstevnice v rozlišení 5 m (vlastní, 2016)

Oproti rastru stejného rozlišení srovnávající data DMR 4G a DMR 5G pozorujeme mírný pokles shody mezi hodnotami S faktoru ve srovnávaných rastroch. Průměrná hodnota rozdílu mezi rastry S faktoru je -0,03, tedy hodnota podobná průměrné hodnotě rozdílu mezi rastry z DEM-DMR 5G a DEM-DMR 4G v rozlišení 1 m. Krajní hodnoty jsou ve srovnání se zmíněným rastrem nižší, avšak pokud bychom hodnoty krajních bodů přirovnali k rozdílu mezi stejnými rastry v rozlišení 5 m, dostáváme hodnoty krajních bodů přibližně dvojnásobné velikosti. Hodnota směrodatné odchylky 0,398 však značí větší rozptýlenost vůči rozptýlenosti hodnot obou zmiňovaných rastrů (0,212 pro rozlišení 1 m a 0,093 v 5 m rozlišení).



Obr. 35: Výřez srovnání S faktoru v DEM DMR 4G/ZABAGED-vrstevnice v rozlišení 5 m (vlastní, 2016)

Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

krajní hodnota: S faktor DMR 4G > S faktor ZABAGED-vrstevnice	5,276
podíl buněk, ve kterých má DEM-DMR 4G vyšší hodnotu faktoru S	0,071 %
krajní hodnota: S faktor DMR ZABAGED-vrstevnice > S faktor DMR 4G	-4,147
podíl buněk, ve kterých má DEM-ZABAGED-vrstevnice vyšší hodnotu faktoru S	1,74 %
podíl buněk se stejnou hodnotou S faktoru v obou rastrch	98,189 %
průměrná změna	-0,031
směrodatná odchylka	0,41

Tab. 18: Srovnání S faktoru v DEM DMR 4G/ZABAGED-vrstevnice v rozlišení 5 m (vlastní, 2016)

Stejně jako u L faktoru i v rastru sklonitosti pozorujeme, že rozdílové hodnoty rastrů z dat DMR 5G a ZABAGED-vrstevnice jsou velice podobné rozdílové hodnotě rastrů z DMR 4G a vrstevnicových dat. Podíl buněk, kde oba rastry mají stejné hodnoty faktoru S, je rovněž téměř shodný s podílem v rastru srovnávajícím DMR 5G a ZABAGED-vrstevnice. Podobné jsou si i průměrné hodnoty (-0,031 pro DMR 4G – vrstevnice; pro DMR 5G – vrstevnice byla tato hodnota -0,03) a hodnoty směrodatné odchylky (0,41 pro první z uvedených rastrů; 0,398 pro druhý) obou těchto rastrů.

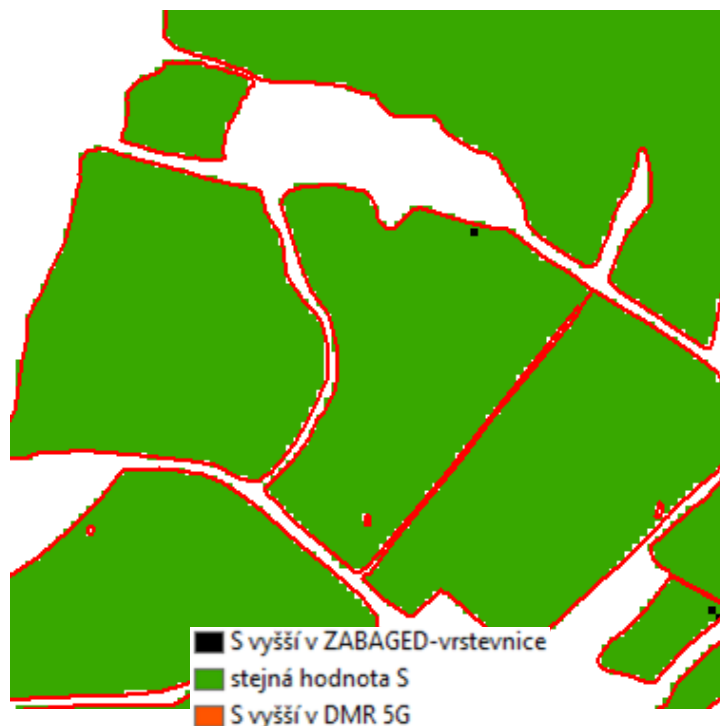


Obr. 36: Výřez srovnání S faktoru v DEM DMR 5G/DMR 4G v rozlišení 10 m (vlastní, 2016)
 Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

krajní hodnota: S faktor DMR 5G > S faktor DMR 4G	0,53
podíl buněk, ve kterých má DEM-DMR 5G vyšší hodnotu faktoru S	0 %
krajní hodnota: S faktor DMR 4G > S faktor DMR 5G	-0,529
podíl buněk, ve kterých má DEM-DMR 4G vyšší hodnotu faktoru S	0 %
podíl buněk se stejnou hodnotou S faktoru v obou rastrech	100 %
průměrná změna	-0,002
směrodatná odchylka	0,03

Tab. 19: Srovnání S faktoru v DEM DMR 5G/DMR 4G v rozlišení 10 m (vlastní, 2016)

Oproti rastrům s vyšším rozlišením pozorujeme, že shoda S faktoru v obou rastrech je 100%. Hodnoty krajních bodů jsou zde 4,5násobně nižší ve srovnání s rastrem o rozlišení 5 m, zatímco hodnoty krajních bodů byly v rastru o rozlišení 5 m 4,4násobně nižší ve srovnání s rastrem o rozlišení 1 m. Z tohoto zjištění můžeme odhadovat trend, kdy při snížení rozlišení rastru reprezentace S faktoru zároveň dochází ke zmenšování rozdílů mezi výsledky S faktoru z dat DMR 5G a DMR 4G. Není výjimečné, že hodnoty S faktoru jsou v průměru vyšší v rastru získaném z DEM-DMR 4G, výjimečná je však velikost této hodnoty. S hodnotou -0,002 se jedná o nejmenší průměrnou změnu mezi všemi srovnávanými rastry sklonitosti ve všech rozlišeních, které byly porovnávány. Rozptyl hodnot mezi krajními body je zde rovněž minimální.



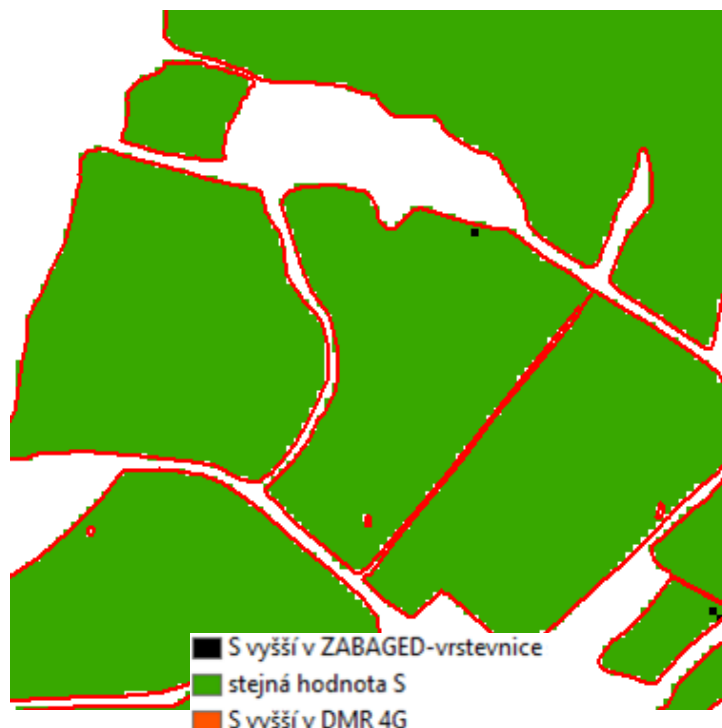
Obr. 37: Výřez srovnání S faktoru v DEM DMR 5G/ZABAGED-vrstevnice v rozlišení 10 m (vlastní, 2016)

Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

krajní hodnota: S faktor DMR 5G > S faktor ZABAGED-vrstevnice	2,825
podíl buněk, ve kterých má DEM-DMR 5G vyšší hodnotu faktoru S	0,004 %
krajní hodnota: S faktor DMR ZABAGED-vrstevnice > S faktor DMR 5G	-3,103
podíl buněk, ve kterých má DEM-ZABAGED-vrstevnice vyšší hodnotu faktoru S	0,581 %
podíl buněk se stejnou hodnotou S faktoru v obou rastroch	99,415 %
průměrná změna	-0,02
směrodatná odchylka	0,317

Tab. 20: Srovnání S faktoru v DEM DMR 5G/ZABAGED-vrstevnice v rozlišení 10 m (vlastní, 2016)

V porovnání se stejným rastrem z DEM s vyšším rozlišením, můžeme nárůst shody hodnot v buňkách srovnávacího rastru o 1 %. Hodnoty krajních bodů se vůči stejnému rastru s vyšším rozlišením snížily, nicméně ne tak dramaticky, jaký byl pokles v těchto hodnotách mezi rozdílovými rastry sklonitosti z DMR 5G a DMR 4G napříč třemi rozlišeními, ve kterých byly srovnávány. V průměru jsou hodnoty S faktoru vyšší o hodnotu 0,02 ve sklonitostním rastru z vrstevnicových dat. Rozdíl mezi touto hodnotou a stejnou informací v rastru s rozlišením 5 m je pouze 0,01. Tato hodnota je 1,5násobně menší, zatímco rastry sklonitosti z DEM-DMR 5G a DEM-DMR 4G mezi těmito rozlišeními vykazovaly rozdíl čtyřnásobný. Hodnoty S faktoru jsou podobně rozptýleny jako v rastru stejného srovnání sklonitostních rastrů o rozlišení 5 m.



Obr. 38: Výřez srovnání S faktoru v DEM DMR 4G/ZABAGED-vrstevnice v rozlišení 10 m (vlastní, 2016)

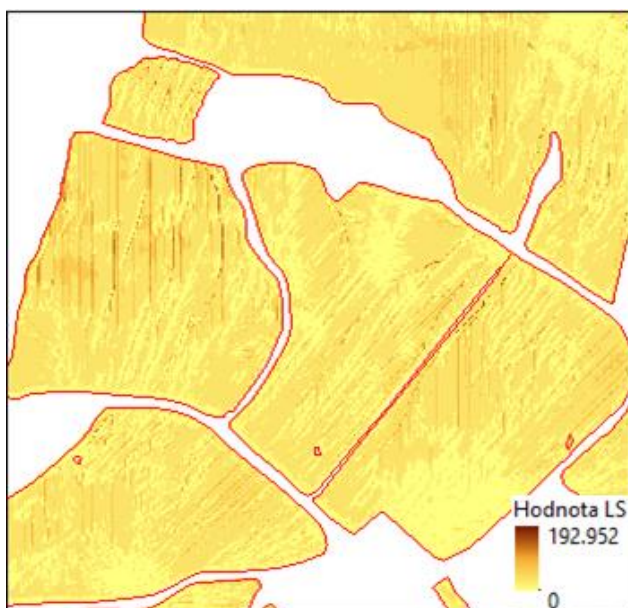
Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

krajní hodnota: S faktor DMR 4G > S faktor ZABAGED-vrstevnice	2,864
podíl buněk, ve kterých má DEM-DMR 4G vyšší hodnotu faktoru S	0,004 %
krajní hodnota: S faktor DMR ZABAGED-vrstevnice > S faktor DMR 4G	-3,107
podíl buněk, ve kterých má DEM-ZABAGED-vrstevnice vyšší hodnotu faktoru S	0,589 %
podíl buněk se stejnou hodnotou S faktoru v obou rastrech	99,407 %
průměrná změna	-0,02
směrodatná odchylka	0,316

Tab. 21: Srovnání S faktoru v DEM DMR 4G/ZABAGED-vrstevnice v rozlišení 10 m (vlastní, 2016)

Na výsledcích rozdílu rastrů sklonitosti z [DEM-DMR 4G – DEM-ZABAGED-vrstevnice] a [DEM-DMR 5G – DEM-ZABAGED-vrstevnice] v rozlišení 10 m ještě více vyniká podobnost mezi hodnotami sledovaných jevů, než kterou jsme sledovali u těchto rastrů v rozlišení 5 m. Domněnka, že hlavní rozdíly jsou způsobeny zvolenou interpolací, jakou model terénu vznikl, by se tedy dala považovat za potvrzenou. Zda je DEM získaný metodou Topo to Rastr vhodný pro výpočet LS faktoru, zjistíme porovnáním výsledků s výsledkem na kontrolních liniích. Toto potvrzují svou studii Zhang et al. (1999), kteří došli ke zjištění, že největší odchylky ve výpočtu faktoru sklonitosti se vyskytují v místech s vyššími sklony, neboť v těchto místech dochází k největšímu průměrování hodnot při interpolaci. Protože DEM z vrstvy vrstevnicových dat vznikl jinou interpolační metodou, je tento důvod hlavní příčinou 100% shody v porovnání s rastry z DMR 5G a 4G.

3.3 Hodnoty topografického faktoru



Obr. 39: Výřez území s hodnotami LS faktoru vypočteného z dat DMR 4G v rozlišení 1 m (vlastní, 2016)
Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

minimální hodnota LS faktoru	0
průměrná hodnota LS faktoru	1,170
maximální hodnota LS faktoru	192,952
většina hodnot LS faktoru v intervalu	0 – 11,35
podíl buněk s hodnotou LS > 11,35	0,943 %

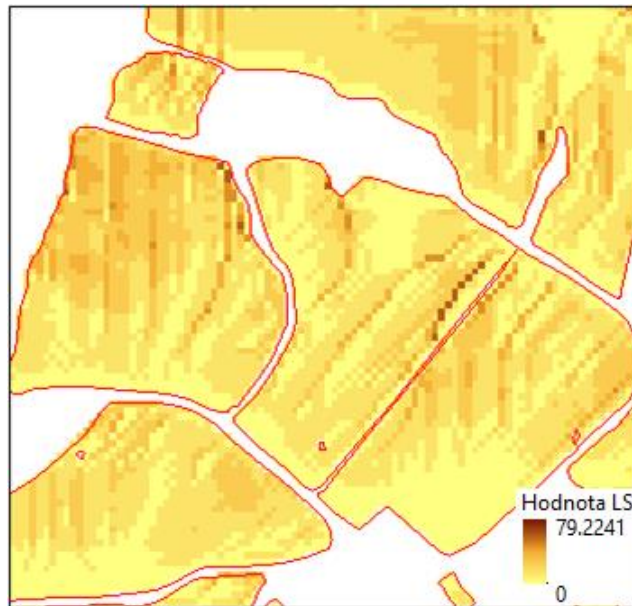
Tab. 22: Hodnoty LS faktoru odvozeného z DEM-DMR 4G v rozlišení 1 m (vlastní, 2016)



Obr. 40: Výřez území s hodnotami LS faktoru vypočteného z dat DMR 4G v rozlišení 5 m (vlastní, 2016)
Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

minimální hodnota LS faktoru	0
průměrná hodnota LS faktoru	1,651
maximální hodnota LS faktoru	114,511
většina hodnot LS faktoru v intervalu	0 – 13,921
podíl buněk s hodnotou LS > 13,921	0,604 %

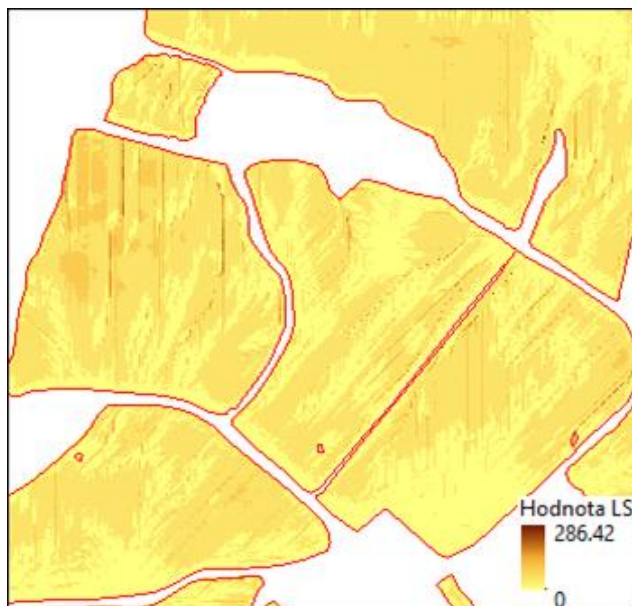
Tab. 23: Hodnoty LS faktoru odvozeného z DEM-DMR 4G v rozlišení 5 m (vlastní, 2016)



Obr. 41: Výřez území s hodnotami LS faktoru vypočteného z dat DMR 4G v rozlišení 10 m (vlastní, 2016)
 Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

minimální hodnota LS faktoru	0
průměrná hodnota LS faktoru	1,855
maximální hodnota LS faktoru	79,224
většina hodnot LS faktoru v intervalu	0 – 12,738
podíl buněk s hodnotou LS >12,738	0,793 %

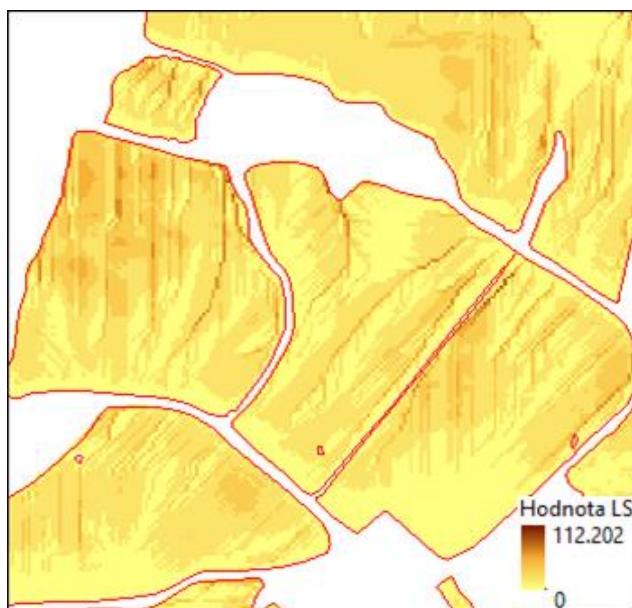
Tab. 24: Hodnoty LS faktoru odvozeného z DEM-DMR 4G v rozlišení 10 m (vlastní, 2016)



Obr. 42: Výřez území s hodnotami LS faktoru vypočteného z dat DMR 5G v rozlišení 1 m (vlastní, 2016)
 Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

minimální hodnota LS faktoru	0
průměrná hodnota LS faktoru	1,146
maximální hodnota LS faktoru	286,420
většina hodnot LS faktoru v intervalu	0 – 11,232
podíl buněk s hodnotou LS > 11,232	0,833 %

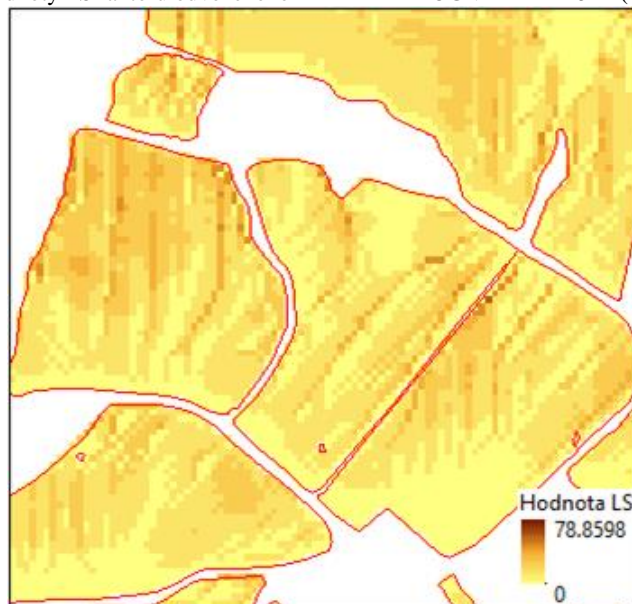
Tab. 24: Hodnoty LS faktoru odvozeného z DEM-DMR 5G v rozlišení 1 m (vlastní, 2016)



Obr. 43: Výřez území s hodnotami LS faktoru vypočteného z dat DMR 5G v rozlišení 5 m (vlastní, 2016)
 Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

minimální hodnota LS faktoru	0
průměrná hodnota LS faktoru	1,700
maximální hodnota LS faktoru	112,202
většina hodnot LS faktoru v intervalu	0 – 12,76
podíl buněk s hodnotou LS > 12,76	0,715 %

Tab. 25: Hodnoty LS faktoru odvozeného z DEM-DMR 5G v rozlišení 5 m (vlastní, 2016)



Obr. 44: Výřez území s hodnotami LS faktoru vypočteného z dat DMR 5G v rozlišení 10 m (vlastní, 2016)
 Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

minimální hodnota LS faktoru	0
průměrná hodnota LS faktoru	1,854
maximální hodnota LS faktoru	78,860
většina hodnot LS faktoru v intervalu	0 – 12,989
podíl buněk s hodnotou LS > 12,989	0,76 %

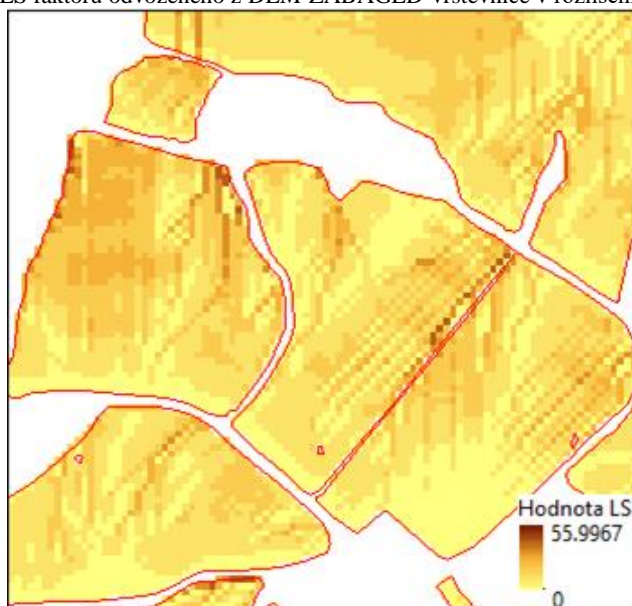
Tab. 26: Hodnoty LS faktoru odvozeného z DEM-DMR 5G v rozlišení 10 m (vlastní, 2016)



Obr. 45: Výřez území s hodnotami LS faktoru vypočteného z dat ZABAGED-vrstevnice 5 m (vlastní, 2016)
Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

minimální hodnota LS faktoru	0
průměrná hodnota LS faktoru	1,862
maximální hodnota LS faktoru	88,028
většina hodnot LS faktoru v intervalu	0 – 13,808
podíl buněk s hodnotou LS > 13,808	0,612 %

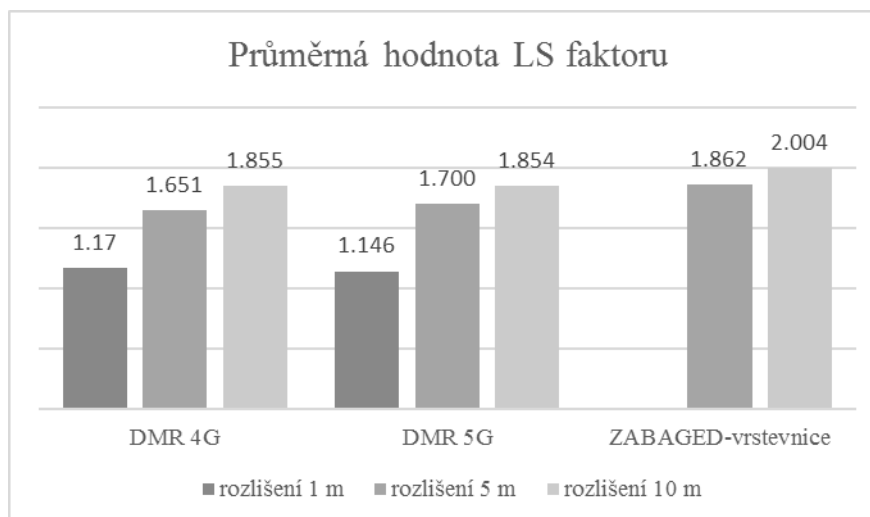
Tab. 27: Hodnoty LS faktoru odvozeného z DEM-ZABAGED-vrstevnice v rozlišení 5 m (vlastní, 2016)



Obr. 46: Výřez území s hodnotami LS faktoru vypočteného z dat ZABAGED-vrstevnice 10 m (vlastní, 2016)
Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

minimální hodnota LS faktoru	0
průměrná hodnota LS faktoru	2,004
maximální hodnota LS faktoru	55,997
většina hodnot LS faktoru v intervalu	0 – 12,35
podíl buněk s hodnotou LS > 11,35	0,942 %

Tab. 27: Hodnoty LS faktoru odvozeného z DEM-ZABAGED-vrstevnice v rozlišení 10 m (vlastní, 2016)

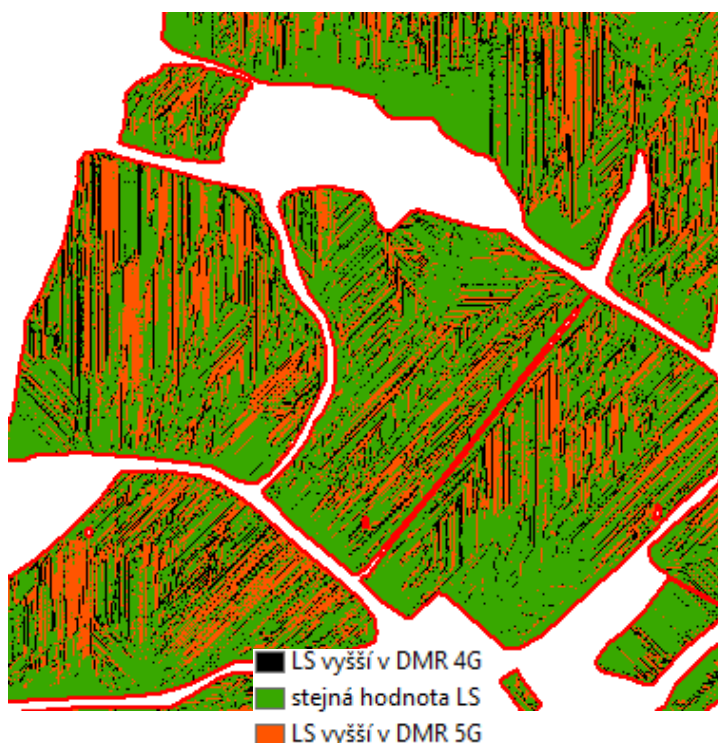


Obr. 47: Srovnání průměrných hodnot LS faktoru vypočtených z dat DMR 4G, DMR 5G a ZABAGED-vrstevnice v rozlišení 1 m, 5 m a 10 m (vlastní, 2016)

Z porovnání průměrných hodnot topografického faktoru v rámci všech DEM, se kterými pracujeme, vyplývá, že se zvyšujícím se rozlišením zároveň roste průměrná hodnota LS faktoru. Obecně pak platí, že rastry reprezentace topografického faktoru z DEM-DMR 4G a DEM-DMR 5G dosahují podobných průměrných hodnot ve stejných rozlišeních, zatímco průměrná hodnota LS faktoru vypočítaného z DEM vrstevnicových dat v rozlišení 5 m odpovídá hodnotě topografického faktoru generovaného z rastrů ostatních DEM v rozlišení 10 m.

Jak popisuje Hickey (2000), se snižováním rozlišení rastru modelu terénu zároveň narůstá množství chyb ve výpočtu povrchového odtoku. Je tomu tak proto, že lokální nerovnosti jsou v rastrech nižších rozlišení opomíjeny. Výpočet skutečných ztrát půdy z erozně uzavřených celků pak nebude přesný – abychom docílili přesnějších hodnot odhadu ztráty půdy, je vhodné najít rovnováhu mezi rozlišením a přesností DEM, ze kterých výpočet provádíme.

3.4 Srovnání hodnot topografického faktoru



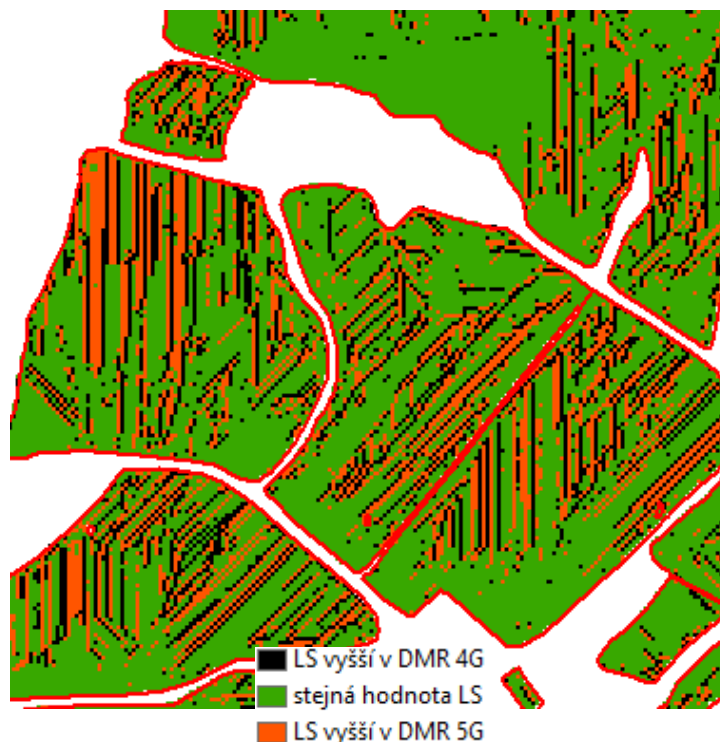
Obr. 48: Výřez srovnání LS faktoru v DEM DMR 5G/DMR 4G v rozlišení 1 m (vlastní, 2016)
Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

podíl buněk, ve kterých má DEM-DMR 5G vyšší hodnotu faktoru LS	23,514 %
podíl buněk, ve kterých má DEM-DMR 4G vyšší hodnotu faktoru LS	14,107 %
podíl buněk se stejnou hodnotou LS faktoru v obou rastroch	62,379 %
průměrná změna	-0,591
směrodatná odchylka	2,952

Tab. 28: Srovnání LS faktoru v DEM DMR 5G/DMR 4G v rozlišení 1 m (vlastní, 2016)

Ze vzájemného porovnání vyplývá, že stejných hodnot LS faktoru rastry odvozené z dat DMR 5G a DMR 4G v rozlišení 1 m dosahují v 62,379 % případů. Co se týče rozdílných hodnot topografického faktoru, z větší části dosahuje vyšších hodnot rastr odvozený z DMR 5G (23,514 %). Průměrná hodnota LS faktoru ve srovnávacím rastru je však -0,591, což znamená, že v průměru jsou hodnoty LS faktoru vyšší v rastru odvozeném z DMR 4G. Směrodatná odchylka nabývá hodnoty 2,952.

Ve srovnání s rastry reprezentace L faktoru a S faktoru stejného původu a rozlišení pozorujeme pokles shody mezi oběma rastry a nárůst hodnoty směrodatné odchylky.



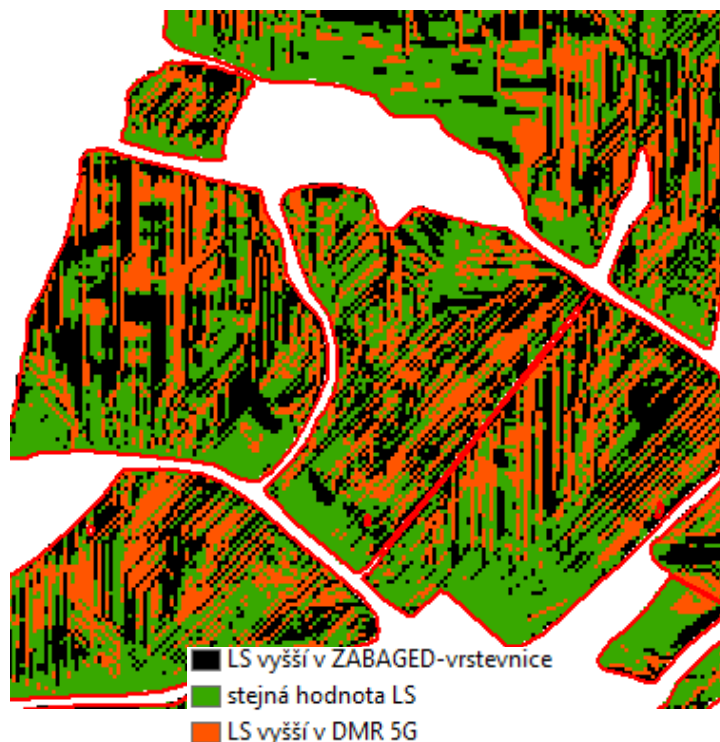
Obr. 49: Výřez srovnání LS faktoru v DEM DMR 5G/DMR 4G v rozlišení 5 m (vlastní, 2016)
 Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

podíl buněk, ve kterých má DEM-DMR 5G vyšší hodnotu faktoru LS	17,95 %
podíl buněk, ve kterých má DEM-DMR 4G vyšší hodnotu faktoru LS	15,031 %
podíl buněk se stejnou hodnotou LS faktoru v obou rastroch	67,019 %
průměrná změna	-0,322
směrodatná odchylka	1,956

Tab. 29: Srovnání LS faktoru v DEM DMR 5G/DMR 4G v rozlišení 5 m (vlastní, 2016)

Oproti srovnání stejných rastrů o vyšším rozlišení pozorujeme nárůst podílu buněk, ve kterých srovnávané rastry dosahují stejných hodnot. Stejnou tendenci, tedy vzrůst shody mezi rastry se snížením rozlišení, jsme pozorovali i u faktorů L a S. Poměr, ve kterém jsou podíly buněk, kdy DMR 4G nebo DMR 5G mají vyšší hodnoty LS faktoru než druhý rastr, je oproti srovnávacímu rastru o vyšším rozlišení více vyrovnaný. Rovněž hodnota směrodatné odchylky je nižší než v rastru vyššího rozlišení. Hodnoty LS faktoru je zde stejně jako v rozlišení 1 m v průměru vyšší v rastru generovaném z dat DMR 4G.

Stejně jako v předchozím srovnání v případě porovnání tohoto rastru s rastry reprezentující L a S faktory generovanými z dat DMR 4G a DMR 5G o rozlišení 5 m i zde dochází k poklesu shody mezi srovnávanými rastry.



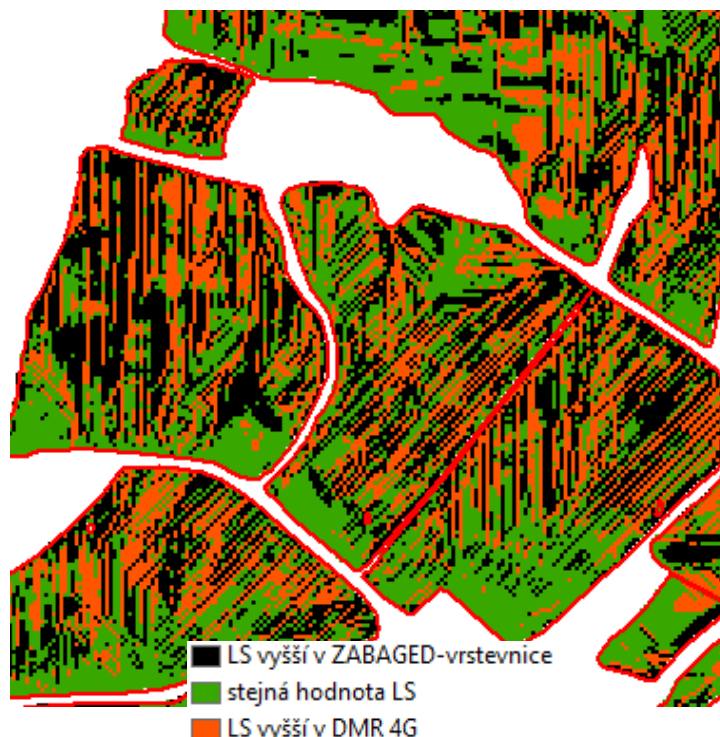
Obr. 50: Výřez srovnání LS faktoru v DEM DMR 5G/ZABAGED-vrstevnice v rozlišení 5 m (vlastní, 2016)
 Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

podíl buněk, ve kterých má DEM-DMR 5G vyšší hodnotu faktoru LS	25,053 %
podíl buněk, ve kterých má DEM-ZABAGED-vrstevnice vyšší hodnotu faktoru LS	30,032 %
podíl buněk se stejnou hodnotou LS faktoru v obou rastroch	44,915 %
průměrná změna	-0,524
směrodatná odchylka	2,692

Tab. 30: Srovnání LS faktoru v DEM DMR 5G/ZABAGED-vrstevnice v rozlišení 5 m (vlastní, 2016)

Na rozdíl od rastrů z dat DMR 4G a DMR 5G, jejichž digitální model terénu, který je základem pro odvození topografického faktoru, byl generován odlišným způsobem, než tomu bylo u dat ZABAGED-vrstevnice, pozorujeme pokles buněk se stejnou hodnotou tohoto faktoru. Situace v tomto případě je zde taková, že stejných hodnot LS faktoru dosahuje téměř 45 % buněk, v 30 % případů je hodnota LS faktoru vyšší v rastru z dat ZABAGED-vrstevnice a v 25 % je hodnota LS faktoru vyšší v rastru odvozeného z DMR 5G. Průměrná změna o hodnotě -0,524 odpovídá zjištění, že je zde vyšší podíl buněk s hodnotou LS vyšší v rastru z dat ZABAGED-vrstevnice. Je zde rovněž vyšší rozptyl hodnot ve srovnání, než tomu bylo u srovnání dat DMR 4G a DMR 5G ve stejném rozlišení.

Pokud porovnáme míru shody hodnot topografického faktoru v těchto rastroch s mírou shody v rastroch srovnávacích faktory L (76,945 %) a S (98,337 %) ze stejných dat o stejném rozlišení zjistíme, že shoda je výrazně nižší.



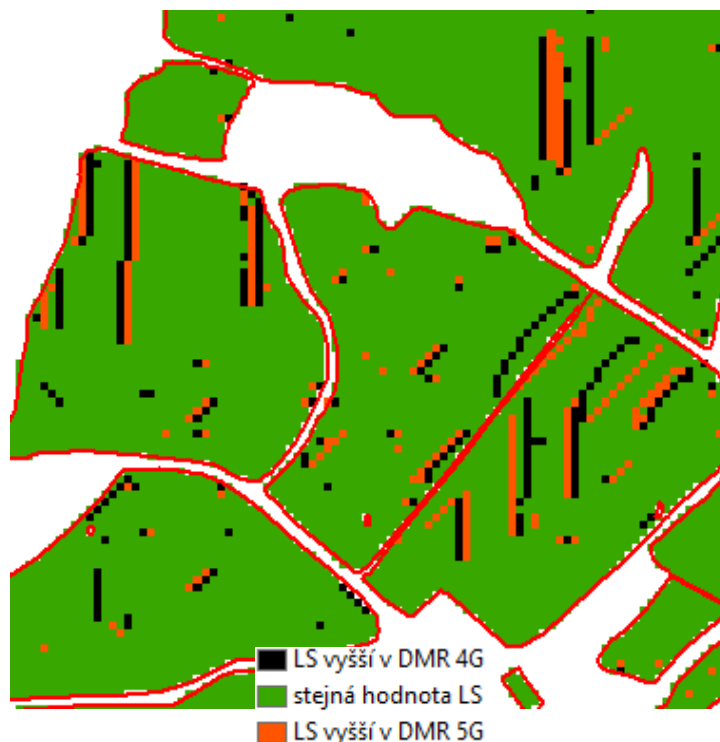
Obr. 51: Výřez srovnání LS faktoru v DEM DMR 4G/ZABAGED-vrstevnice v rozlišení 5 m (vlastní, 2016)
 Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

podíl buněk, ve kterých má DEM-DMR 4G vyšší hodnotu faktoru LS	24,543 %
podíl buněk, ve kterých má DEM-ZABAGED-vrstevnice vyšší hodnotu faktoru LS	32,802 %
podíl buněk se stejnou hodnotou LS faktoru v obou rastrch	42,655 %
průměrná změna	-0,575
směrodatná odchylka	2,779

Tab. 31: Srovnání LS faktoru v DEM DMR 4G/ZABAGED-vrstevnice v rozlišení 5 m (vlastní, 2016)

Stejně jako v rastru srovnání topografického faktoru v DMR 5G s ZABAGED-vrstevnice pozorujeme nižší podíl shody ve srovnávaných rastrch. V tomto případě je shoda ještě o 2,26 % nižší, než tomu bylo u výše zmíněných rastrů. Hodnota shody mezi rastry zde dosahuje 42,655 %, v 32,802 % byly hodnoty LS faktoru vyšší v rastru z dat ZABAGED-vrstevnice a v 24,543 % případů měl vyšší hodnoty topografického faktoru rastr z dat DMR 4G. Hodnota průměrné změny s -0,575 je přibližně stejná jako ve srovnání vrstevnicových dat s DMR 5G. Podobné hodnoty rovněž dosahuje směrodatná odchylka.

Na porovnání s rastry porovnávací hodnoty L a S faktoru z dat stejného rozlišení a původu je možné sledovat rozdíl mezi podíly shodných buněk. Zatímco v případě L faktoru tato shoda byla 74 % a v případě S faktoru více než 98%, shoda u topografického faktoru je ve srovnání s faktorem délky svahu o 31,375 % nižší. U faktoru sklonu svahu rozdíl v podílu shodných buněk činí 55,534 %.



Obr. 52: Výřez srovnání LS faktoru v DEM DMR 5G/DMR 4G v rozlišení 10 m (vlastní, 2016)

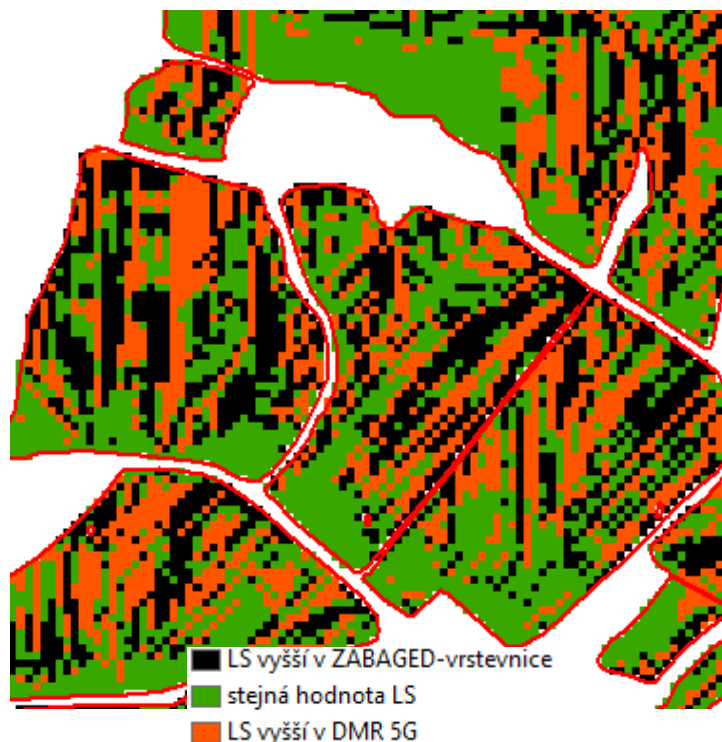
Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

podíl buněk, ve kterých má DEM-DMR 5G vyšší hodnotu faktoru LS	2,804 %
podíl buněk, ve kterých má DEM-DMR 4G-vrstevnice vyšší hodnotu faktoru LS	2,972 %
podíl buněk se stejnou hodnotou LS faktoru v obou rastroch	94,224 %
průměrná změna	-0,116
směrodatná odchylka	0,762

Tab. 32: Srovnání LS faktoru v DEM DMR 5G/DMR 4G v rozlišení 10 m (vlastní, 2016)

Pokud srovnáme tento srovnávací rastr o rozlišení 10 m s rastry vyššího rozlišení, je zde nejvýraznější změna v podílu buněk, které dosahují stejných hodnot topografického faktoru. Zatímco změna mezi rozlišeními 1 m a 5 m byla necelých 5 %, mezi rozlišeními 5 m a 10 m tato změna dosahuje hodnoty 27,2 %. Hodnota směrodatné odchylky je zde ve srovnání s rastry vyššího rozlišení rovněž nižší (0,762), stejně jako hodnota průměrné změny (-0,116) se zachováním skutečnosti, že v průměru je vyšší rastr LS faktoru z dat DMR 4G.

Přestože shoda mezi rastry v tomto rozlišení nebyla 100% stejně jako v případě S faktoru (ani 97% jako u faktoru délky svahu), můžeme prohlásit, že rastry stejného původu dosahují téměř totožných výsledků při rozlišení 10 m. Jak již bylo řečeno, toto je způsobeno tím, že při snížení rozlišení dochází k opomíjení lokálních nerovností (Hickey, 2000), a tím dochází k větší shodě mezi daty rozdílného původu.



Obr. 53: Výřez srovnání LS faktoru v DEM DMR 5G/ZABAGED-vrstevnice v rozlišení 10 m (vlastní, 2016)

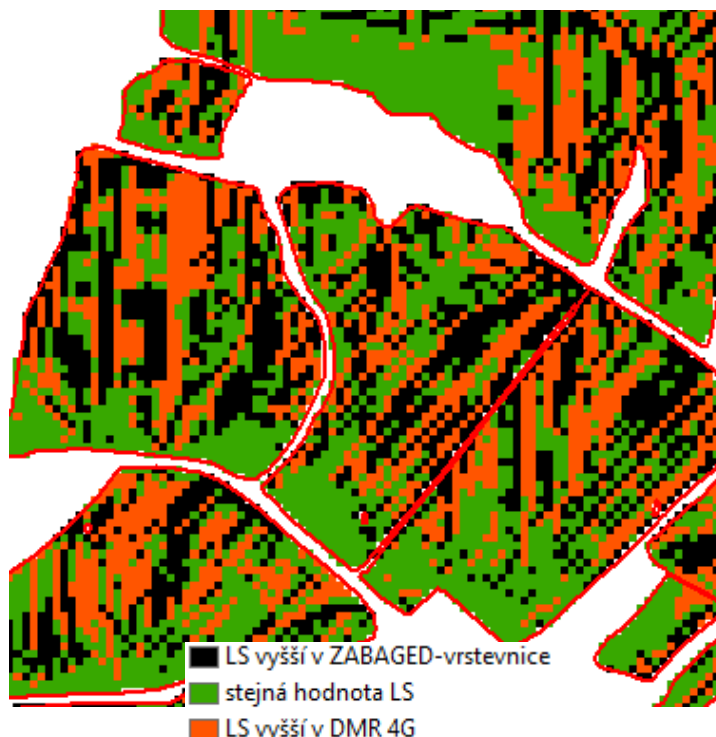
Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

podíl buněk, ve kterých má DEM-DMR 5G vyšší hodnotu faktoru LS	24,842 %
podíl buněk, ve kterých má DEM-ZABAGED-vrstevnice vyšší hodnotu faktoru LS	29,823 %
podíl buněk se stejnou hodnotou LS faktoru v obou rastroch	45,335 %
průměrná změna	-0,352
směrodatná odchylka	2,548

Tab. 33: Srovnání LS faktoru v DEM DMR 5G/ZABAGED-vrstevnice v rozlišení 10 m (vlastní, 2016)

Ve srovnání se stejným rastrem vyššího rozlišení pozorujeme mírný nárůst shody na úkor podílů buněk, kde je LS faktor vyšší v jednom nebo druhém srovnávaném rastru. V obou případech se jedná o pokles o 0,21 %. Pokles v hodnotě nastal i u průměrné hodnoty rozdílu mezi srovnávanými rastry, a to na hodnotu -0,352. Hodnota směrodatné odchylky je takřka shodná s její hodnotou v rastru vyššího rozlišení.

Trend, který byl vypořádan u dat DMR 5G a DMR 4G – tedy že se snížením rozlišení roste míra shody, zde pravidlem není. Ačkoliv u topografického faktoru a faktoru sklonitosti můžeme pozorovat určitý nárůst ve shodě (byť v případě LS faktoru se jedná o 0,42% nárůst), toto pravidlo neplatí pro faktor délky svahu, kde dochází k poklesu o 1,552 %.



Obr. 54: Výřez srovnání S faktoru v DEM DMR 4G/ZABAGED-vrstevnice v rozlišení 10 m (vlastní, 2016)
 Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

podíl buněk, ve kterých má DEM-DMR 4G vyšší hodnotu faktoru LS	24,861 %
podíl buněk, ve kterých má DEM-ZABAGED-vrstevnice vyšší hodnotu faktoru LS	29,835 %
podíl buněk se stejnou hodnotou LS faktoru v obou rastroch	45,304 %
průměrná změna	-0,34
směrodatná odchylka	2,567

Tab. 34: Srovnání S faktoru v DEM DMR 4G/ZABAGED-vrstevnice v rozlišení 10 m (vlastní, 2016)

V analýze rastrů reprezentace LS faktoru odvozených z dat DMR 4G a ZABAGED-vrstevnice vychází podobné výsledky jako v případě srovnání topografického faktoru v rastroch z dat vrstevnicového původu a DMR 5G. Rozdíly jsou nepatrné, v řádech setin.

Jak již bylo řečeno u předchozího srovnání, rastry reprezentace L, S a LS faktoru z dat ZABAGED-vrstevnice jsou odlišné od dat DMR 5G a DMR 4G a ve srovnání s nimi vykazují jiné tendence. Fakt, že podíl buněk, ve kterých mají výše zmíněné faktory, je se snížením rozlišení ve srovnání DMR 4G – ZABAGED-vrstevnice a DMR 5G – ZABAGED-vrstevnice téměř konstantní, pouze poukazuje na to, že hodnoty mezi DMR 4G a DMR 5G jsou se snížením rozlišení vzájemně více vyrovnané.

4. Porovnání výsledků s LS faktorem USLE

Na následujícím obrázku je znázorněno rozmístění linií pro kontrolní výpočet LS faktoru pomocí metodiky USLE.



Obr. 55: Rozmístění srovnávacích linií povrchového odtoku pro výpočet dle USLE (vlastní, 2016)
Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

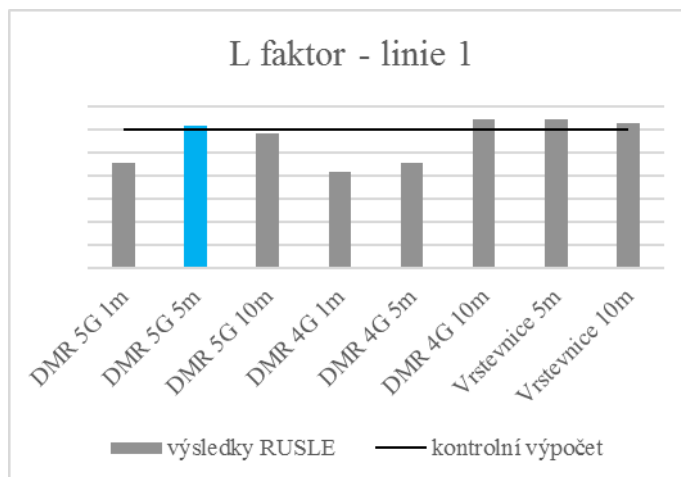
4.1 Kontrolní linie č. 1

	L	S	LS
USLE – kontrolní	3,01	1,37	4,12
DMR 5G 1 m	2,29	1,51	3,46
DMR 5G 5 m	3,09	1,52	4,70
DMR 5G 10 m	2,93	1,45	4,24
DMR 4G 1 m	2,1	1,52	3,20
DMR 4G 5 m	2,27	1,51	3,36
DMR 4G 10 m	3,22	1,45	4,80
Vrstevnice 5 m	3,22	1,42	4,61
Vrstevnice 10 m	3,16	1,44	4,62

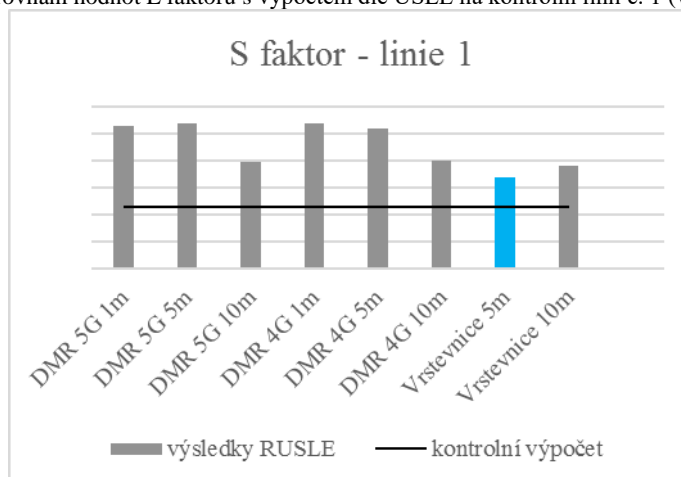
Tab. 35: Srovnání výsledků s výsledkem USLE na kontrolní linii č. 1 (vlastní, 2016)

Ze srovnání pozorujeme, že průměrná hodnota L faktoru nejvíce se blíží hodnotě na kontrolní linii je hodnota v rastru z dat DMR 5G v rozlišení 5 m. S ohledem na hodnotu S faktoru, která je nejbližší hodnotě na kontrolní linii, zde opět vyvstává otázka ze srovnávání samostatných faktorů, zda je rastr sklonitosti generovaný

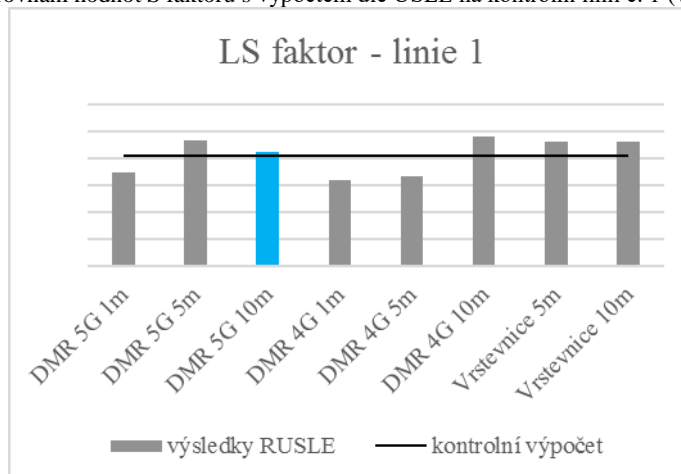
z DEM interpolovaného metodou Topo to Raster vhodný. Odpovědí je, že v tomto případě patrně ano. Hodnota samotného topografického faktoru pak byla nejpřesnější v rastrové reprezentaci odvozené z DEM-DMR 5G, a to v rozlišení 10 m. Celkově na kontrolní linii č. 1 nejvíce obstály DEM z dat DMR 5G.



Obr. 56: Srovnání hodnot L faktoru s výpočtem dle USLE na kontrolní linii č. 1 (vlastní, 2016)



Obr. 57: Srovnání hodnot S faktoru s výpočtem dle USLE na kontrolní linii č. 1 (vlastní, 2016)



Obr. 58: Srovnání hodnot celkového LS s výpočtem dle USLE na kontrolní linii č. 1 (vlastní, 2016)

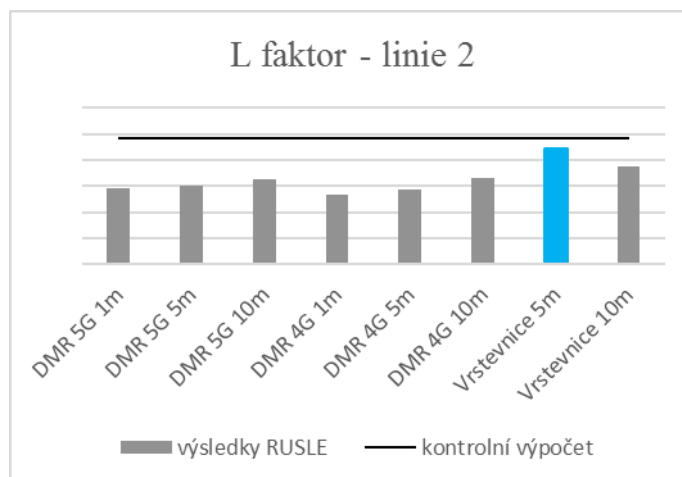
4.2 Kontrolní linie č. 2

	L	S	LS
USLE – kontrolní	2,42	1,31	3,17
DMR 5G 1 m	1,46	1,36	2,05
DMR 5G 5 m	1,50	1,35	2,10
DMR 5G 10 m	1,64	1,31	2,11
DMR 4G 1 m	1,33	1,38	1,88
DMR 4G 5 m	1,44	1,35	1,99
DMR 4G 10 m	1,65	1,31	2,13
Vrstevnice 5 m	2,23	1,37	3,12
Vrstevnice 10 m	1,88	1,33	2,57

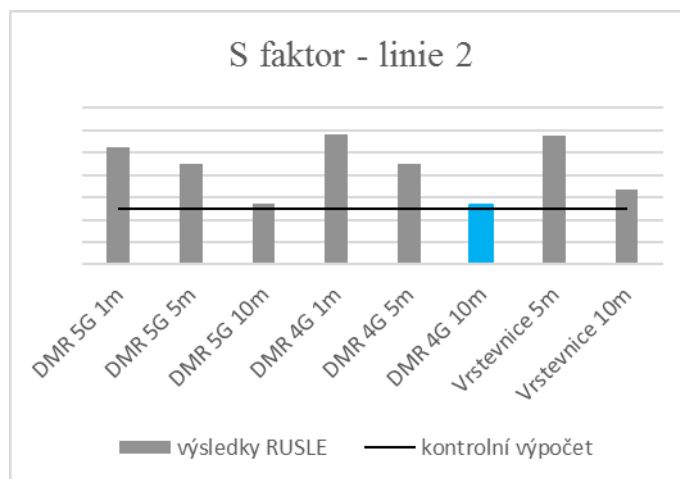
Tab. 36: Srovnání výsledků s výsledkem USLE na kontrolní linii č. 2 (vlastní, 2016)

Srovnání s kontrolním výpočtem na druhé linii ukázalo převahu vrstevnicových dat v DEM s rozlišením 5 m nad ostatními zdroji dat. Nicméně tento fakt může být způsoben tím, že volba kontrolní linie byla provedena na vrstevnicovém podkladu a pouze upravena na základě směru odtoku z rastrů DEM-DMR 5G a 4G.

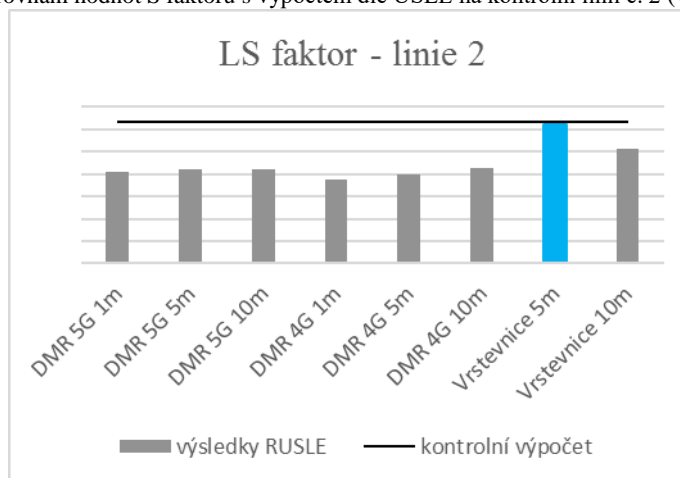
Na srovnání je vidět, že u hodnot L a LS faktoru hodnoty kontrolního výpočtu byly obecně vyšší než průměrné hodnoty v příslušných rastroch na kontrolní linii. Hodnotě 2,42 u faktoru délky svahu v kontrolní linii se tak nejvíce blížila hodnota 2,23 v rastru odvozeném z dat ZABAGED-vrstevnice. Obdobně pak u celkového výsledku LS faktoru s hodnotou 3,17 na kontrolní linii se blížil výpočet v rastru stejného rozlišení odvozeného ze stejného zdroje, ve kterém průměrná hodnota na kontrolní linii dosahovala hodnoty 3,12. U faktoru sklonitosti se naopak hledala nejnižší hodnota, protože hodnota S na kontrolní linii byla v průměru nižší – s hodnotou 1,3097. Nejvíce se jí přibližovala hodnota v rastru v rozlišení 10 m odvozeném z DMR 4G 1,3131; druhá v pořadí pak byla hodnota v rastru stejného rozlišení z dat DMR 5G (1,3145)



Obr. 59: Srovnání hodnot L faktoru s výpočtem dle USLE na kontrolní linii č. 2 (vlastní, 2016)



Obr. 60: Srovnání hodnot S faktoru s výpočtem dle USLE na kontrolní linii č. 2 (vlastní, 2016)



Obr. 61: Srovnání hodnot celkového LS s výpočtem dle USLE na kontrolní linii č. 2 (vlastní, 2016)

4.3 Kontrolní linie č. 3

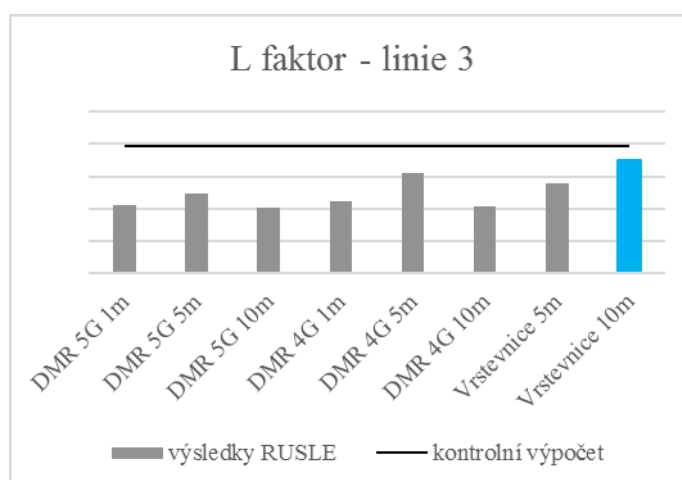
	L	S	LS
USLE – kontrolní	1,96	0,96	1,88
DMR 5G 1 m	1,06	1,13	1,21
DMR 5G 5 m	1,24	1,09	1,41
DMR 5G 10 m	1,02	1,08	1,12
DMR 4G 1 m	1,11	1,14	1,25
DMR 4G 5 m	1,55	1,09	1,78
DMR 4G 10 m	1,04	1,08	1,14
Vrstevnice 5 m	1,40	1,17	1,62
Vrstevnice 10 m	1,75	1,19	2,12

Tab. 38: Srovnání výsledků s výsledkem USLE na kontrolní linii č. 3 (vlastní, 2016)

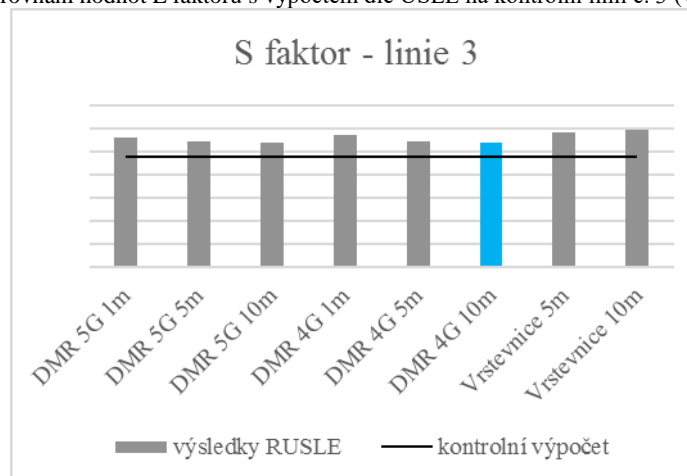
Třetí kontrolní linie ukazuje, že nejbližší výsledkům kontrolního výpočtu dle USLE jsou průměrné hodnoty na kontrolní linii v rastroch reprezentace příslušných faktorů, které byly odvozeny z dat DMR 4G. Protože jsou srovnání roztříštěna mezi zdroji dat, ze kterých pocházejí rastry reprezentace, jejichž hodnota se nejvíce přibližuje hodnotě kontrolní, dalo by se říci, že zdroj dat není klíčovým faktorem, ale bude jím

nejspíš rozlišení rastrů DEM, ze kterých jsou jednotlivé rastry reprezentace odvozeny.

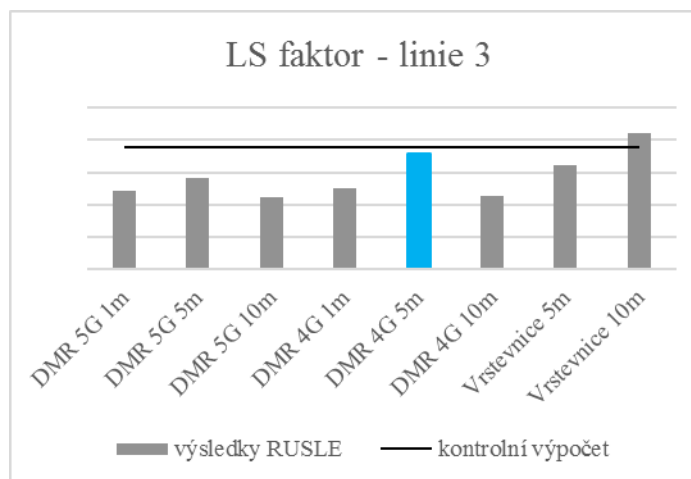
Stejně jako v předchozím případě se hodnotě L faktoru kontrolního výpočtu nejvíce přibližuje rastr s nejvyšší průměrnou hodnotou na kontrolní linii, kterým byl rastr odvozený z DEM-ZABAGED-vrstevnice v rozlišení 10 m. Obdobně tomu je u faktoru sklonu svahu, kde se hodnotě v kontrolním výpočtu blíží naopak rastr s nejnižší průměrnou hodnotou pro kontrolní linii. Stejně jako na předchozí linii se hodnotě kontrolního výpočtu blíží rastry reprezentace odvozené z dat DMR 5G a DMR 4G v rozlišení 10 m; a stejně jako v předchozím případě je této hodnotě bližší rastr z dat DMR 4G (1,0813) než ten, který vychází z DMR 5G (1,0822). Ve srovnání s předchozí linií u celkové hodnoty topografického faktoru kontrolního výpočtu zde nalezneme vyšší i nižší hodnoty v rastroch reprezentace LS faktoru. Nejblíže kontrolnímu výpočtu byl výsledek v rastru z DEM-DMR 4G v rozlišení 5 m.



Obr. 62: Srovnání hodnot L faktoru s výpočtem dle USLE na kontrolní linii č. 3 (vlastní, 2016)



Obr. 63: Srovnání hodnot S faktoru s výpočtem dle USLE na kontrolní linii č. 3 (vlastní, 2016)



Obr. 64: Srovnání hodnot celkového LS s výpočtem dle USLE na kontrolní linii č. 3 (vlastní, 2016)

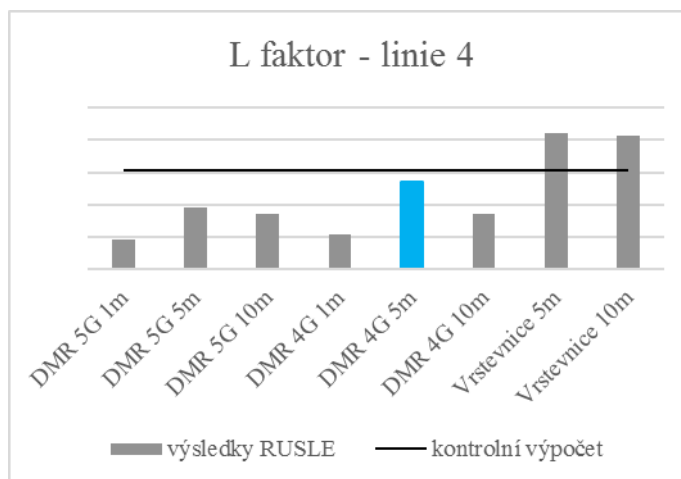
4.4 Kontrolní linie č. 4

	L	S	LS
USLE – kontrolní	1,54	2,10	3,23
DMR 5G 1 m	0,46	1,98	0,93
DMR 5G 5 m	0,96	1,98	1,98
DMR 5G 10 m	0,85	1,94	1,79
DMR 4G 1 m	0,53	1,97	1,07
DMR 4G 5 m	1,36	1,98	2,91
DMR 4G 10 m	0,85	1,94	1,79
Vrstevnice 5 m	2,12	1,96	4,19
Vrstevnice 10 m	2,08	1,88	3,77

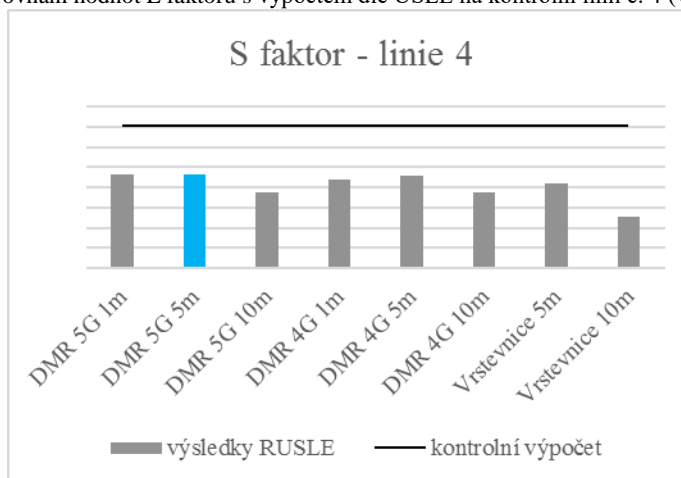
Tab. 39: Srovnání výsledků s výsledkem USLE na kontrolní linii č. 4 (vlastní, 2016)

Na případě kontrolní linie č. 4 je prokázáno, že ne vždy jsou výsledky dílčích faktorů topografického faktoru z vrstevnicových dat bližší kontrolní hodnotě, přestože linie povrchového odtoku byla primárně odvozena z DEM s původem ve vrstevnicové vrstvě. Zároveň všechny rastry srovnatelné hodnoty faktoru, který reprezentují, vycházejí z DEM o rozlišení 5 m.

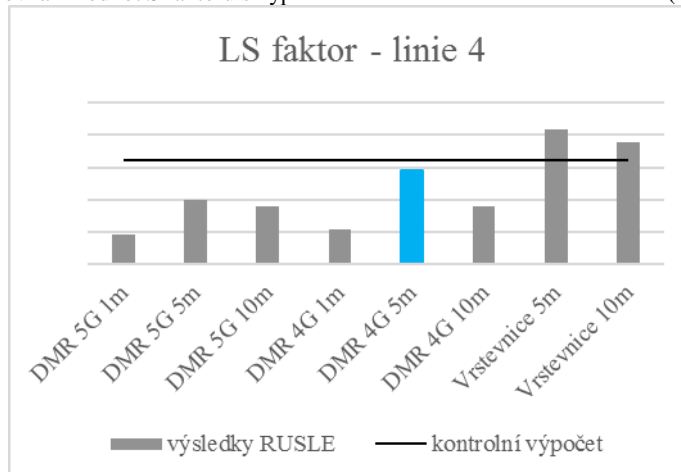
Nejblíže byl kontrolní hodnotě v rastru reprezentujícím vliv délky svahu rastr odvozený z dat DMR 4G. Zde je také zajímavé, že všechny rastry ve stejném rozlišení (5 m) nabývaly na kontrolní linii vyšších hodnot než rastry v rozlišení 1 m nebo 10 m. V případě S faktoru byly svou hodnotou blízko rastry z DEM-DMR 5G v rozlišení 1 m (1,98099), DEM-DMR 5G v rozlišení 5 m (ten byl s hodnotou 1,9821 zároveň nejblíže srovnávané hodnotě) a DEM-DMR 4G v rozlišení 5 m (1,9795). Hodnotě celkového topografického faktoru na kontrolní linii se pak nejvíce svou hodnotou přibližuje rastr odvozený z DEM-DMR 4G v rozlišení 5 m.



Obr. 65: Srovnání hodnot L faktoru s výpočtem dle USLE na kontrolní linii č. 4 (vlastní, 2016)



Obr. 66: Srovnání hodnot S faktoru s výpočtem dle USLE na kontrolní linii č. 4 (vlastní, 2016)



Obr. 67: Srovnání hodnot celkového LS s výpočtem dle USLE na kontrolní linii č. 4 (vlastní, 2016)

4.5 Vyhodnocení výsledků

	L	S	LS	Σ
DMR 5G 1 m	0	0	0	0
DMR 5G 5 m	1	1	0	2
DMR 5G 10 m	0	0	1	1
DMR 4G 1 m	0	0	0	0
DMR 4G 5 m	1	0	2	3
DMR 4G 10 m	0	2	0	2
Vrstevnice 5 m	1	1	1	3
Vrstevnice 10 m	1	0	0	1

Tab. 40: Srovnání počtu výsledků faktorů L, S, LS blížících se kontrolní hodnotě v rámci DEM z dat DMR 4G, DMR 5G a ZABAGED-vrstevnic (vlastní, 2016)

Abychom mohli prokázat, které zdroje dat jsou přesnější pro výpočet topografického faktoru a jeho složek, byl by potřeba mnohem větší počet kontrolních linií jakožto statistický vzorek. I na takto malém vzorku však můžeme pozorovat některé společné znaky. Jak již bylo nastíněno u hodnocení na třetí kontrolní linii, zdá se, že rozhodujícím faktorem pro shodu kontrolního výpočtu s výpočtem v rastrech délky svahu, sklonitosti, a nakonec topografického faktoru je především rozlišení DEM, ze kterého jsou tyto rastry odvozeny.

Nejvíce zastoupení měly rastry s rozlišením 5 m (v součtu 8x), pak 10 m (4x). Rastry s rozlišením 1 m nedosahovaly srovnatelných hodnot s hodnotami na kontrolních liniích ani v jednom případě. Vliv na tuto skutečnost zřejmě neměl ani fakt, že rozlišení 1 m v analýzách bylo zastoupeno pouze dvěma rastry, zatímco pro zbylá rozlišení vždy byly rastry tři.

Otázkou je, zda zvolený způsob výpočtu jednotlivých faktorů v této práci dostatečně odpovídá hodnotám, které by terén s morfologií lokality, pro jejíž území máme dostupná zdrojová data, skutečně měl mít.

Jak poukazuje studie, kde se Dunn & Hickey (1998) zabývali faktorem sklonitosti vypočítaným metodou ANS (viz 5.4 Sklon terénu), která byla použita i v této práci, čím prudší pozorovaný svah je, tím je použitá metoda méně přesná, neboť při výpočtu zanedbává vlastní hodnotu buňky, pro kterou je hodnota sklonu svahu určována. Přestože by se v řešeném území, jejíhož primárním využitím je zemědělská půda (ostatně vrstvou půdních bloků také DEM řešeného území byly oříznuty, abychom erozi řešili v rámci erozně uzavřených celků), logicky neměly nacházet žádné příliš prudké svahy, je tato metoda spíše vhodná pro větší plochy, než

jsou půdní bloky. Rovněž použití metody d_{∞} pro směr odtoku a akumulaci odtoku ve výpočtu L faktoru přináší nesporné výhody vůči metodě d_8 , jenž byla použita při výpočtu faktoru délky svahu v této práci. Na druhou stranu, cílem práce nebylo porovnání všech možností metod výpočtu LS faktoru, ale posouzení, do jaké míry hraje roli rozlišení a přesnost vstupních dat na výsledek.

V práci autorů Zhang et al. (2012), která stejně jako tato porovnává výpočet topografického faktoru z DEM různé přesnosti a rozlišení, je zmíněno, že maximální a průměrné hodnoty dílčích faktorů z rastrů vysokého rozlišení jsou nižší než hodnoty těchto faktorů získané z rastrů nižšího rozlišení, protože v rastrech vysokého rozlišení jsou jasně definovány body přerušení povrchového odtoku. Pokud je existence těchto bodů zanedbána, dochází k obrovským nárůstům v rozloze plochy akumulace, která při výpočtu LS faktoru v prostředí GIS substituuje faktor délky svahu. Logicky je pak hodnota topografického faktoru vyšší, pokud je vyšší hodnota jednoho z dílčích faktorů. Stejně jako v této práci bylo vyzorováno ze srovnání hodnot S faktoru v rámci různých rastrů, mezi kterými nedocházelo k žádným zásadním rozdílům v průměrných a maximálních hodnotách ani při snížení rozlišení zdrojových DEM, tyto hodnoty u L faktoru při snížení rozlišení nabývaly hodnot lišících se poměrně zásadně, ačkoliv stejný rostoucí trend hodnoty L faktoru při snížení rozlišení pozorujeme pouze u průměrné hodnoty.

Závěr

V rámci diplomové práce se podařilo zjistit rozdíly mezi hodnotami faktoru délky svahu (L), faktoru sklonu svahu (S) a celkového LS faktoru na základě původu dat, ze kterých jsou odvozeny. Pro souhrnný LS faktor byly podány informace o tom, v které části intervalu mezi minimální a maximální hodnotou se vyskytuje nejvíce hodnot LS faktoru. Tím byla nepřímo určena hodnota, kterou LS faktor v rámci rastru daného původu o daném rozlišení zpravidla nepřekračuje, neboť při výpočtu dochází k určité míře chybovosti, která je způsobena různými faktory – výrazné lokální změny, malé rozlišení, nevhodný tvar erozně uzavřeného celku, chyby vzniklé interpolací bodové vrstvy, a podobně.

Ve srovnání hodnot LS faktorů odvozených z DEM a LS faktoru USLE na kontrolních liniích bylo zjištěno, že nejčastější výskyt v tomto srovnání měly rastry s rozlišením 5 m (10x), tedy dvakrát více než rastry s rozlišením nižším. Rastry s nejvyšším rozlišením neměly zastoupení žádné, nicméně v několika případech byla jejich hodnota podobná hodnotě v USLE. Je možné, že pokud by kontrolních linií bylo více, zjistilo by se, že rozlišení 1 m nakonec převažuje nad nižšími rozlišeními. V této práci ale bylo zjištěno, že nejpřesnější výsledky vykazuje rozlišení 5 m.

Věřím, že přestože byl statistický vzorek kontrolních linií příliš malý na to, abychom bezpečně mohli tvrdit, že rozlišení 5 metrů je skutečně tím pravým rozlišením pro určení realistické hodnoty výsledku topografického faktoru, byla v této diplomové práci prokázána vyšší pravděpodobnost této varianty rozlišení ve srovnání s rozlišeními 1 m a 10 m. Rozšíření tohoto vzorku by vedlo ke zpřesnění v ohledu, že by ze srovnání bylo i možné určit původ dat, ze kterých DEM s nevhodnějším rozlišením vychází, tedy zda je to DMR 5G, DMR 4G nebo ZABAGED-vrstevnice.

Seznam použité literatury

ARCGIS RESOURCES, 2016a: *How inverse distance weighted interpolation works*. Online: <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/>, cit. 15. 2. 2016.

ARCGIS RESOURCES, 2016b: *Terrain Pyramids*. Online: http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?id=3162&pid=3157&topicname=Terrain_pyramids, cit. 26. 3. 2016.

ARCGIS RESOURCES CENTRE, 2013: *ArcGIS Resources 10.2, 10.2.1, and 10.2.2*. Online: <http://help.arcgis.com/En/Arcgisdesktop/10.0/Help/index.html#/00310000002m000000>, cit. 13. 2. 2016.

ASHRAF, M. I. & ZHAO, Z. & BOURQUE, CH. P.-A. & MENG, F.-R., 2012: *GIS-evaluation of two slope-calculation methods regarding their suitability in slope analysis using high-precision LiDAR digital elevation models*. *Hydrological Processes* 26: 1119-1133.

BLÁHA, J. D. & HUDEČEK, T., 2006: *Vyjadřování výškových bodů a kót na mapách české i světové produkce*. Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze.

BOARDMAN, J. & POESEN, J., 2007: *Soil Erosion in Europe*. John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-85910-0.

BÖHM, J., 2002: *FOTOGRAMMETRIE učební texty*. Vysoká škola báňská-technická univerzita Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, Institut geodézie a důlního měřictví.

BURROUGH, P. A. & MCDONNELL, R. A., 1998: *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press, New York.

COOPER, W., 2013: *Multi-Flow Direction Algorithms in GIS*. University of Pennsylvania, USA.

ČESKÝ ÚŘAD ZEMĚMĚŘICKÝ A KATASTRÁLNÍ, 2016a: *Informace z katastrálního území*. Online: <http://nahlizenidokn.cuzk.cz/VyberKatastrInfo.aspx>, cit. 26. 3. 2016.

ČESKÝ ÚŘAD ZEMĚMĚŘICKÝ A KATASTRÁLNÍ, 2016b: *Výškopis*. Online: [http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(omixf25hqqfpjpeowlltbga1\)\)/Default.aspx?mode=TextM eta&text=vyskopis&side=vyskopis&menu=30](http://geoportal.cuzk.cz/(S(omixf25hqqfpjpeowlltbga1))/Default.aspx?mode=TextM eta&text=vyskopis&side=vyskopis&menu=30), cit. 5. 2. 2016.

DESMET, P. & GROVERS, G., 1996: *A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units*. Journal of Soil and Water Conservation, 51: 427 – 433.

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

DUNN, M. & HICKEY, R., 1998: *The Effect of Slope Algorithms on Slope Estimates within a GIS*. Cartography 27: 9-15.

EUROPEAN COMMISSION, 2016: *INSPIRE – Infrastructure for Spatial Information in the European Community*. Online: <http://inspire.ec.europa.eu/>, cit. 8. 2. 2016.

FAIGL, J. & MARTINEC, Z. & HAVLENA, J. & VEJVODA, M. & OVČARIK, L. & BĚLKA, L. & BŘOUŠEK, L., 2005: *Aktualizace a tvorba topografických map*. Vojenský geografický a hydrometeorologický ústav Dobruška.

FAIRFIELD, J. & LEYMARIE, P., 1991: *Drainage networks from grid digital elevation models*. Water Resources Research.

GRANSHAW, S. I., 1980: *Bundle adjustment methods in engineering photogrammetry*. Photogramm. Rec. 10: 181-207.

HANZL, V. & SUKUP, K., 2001: *Fotogrammetrie I*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební.

HERWITZ, S. R. & JOHNSON, L. F. & DUNAGAN, S. E. & HIGGINS, R. G. & SULLIVAN, D. V. & ZHENG, J. & LOBITZ, B. M. & LEUNG, J. G. & GALLMEYER, B. A. & AOYAGI, M. & SLYE, R. E. & BRASS, J. A., 2004: *Imaging from an unmanned aerial vehicle: agricultural surveillance and decision support*. Computers and Electronics in Agriculture. Volume 44, Issue 1: 49–61.

HICKEY, R. & SMITH, A. & JANKOWSKI, P., 1994: *Slope Length Calculations from a DEM within ARC/INFOGRID*. Computers, Environment and Urban Systems 18: 365-380.

HICKEY, R., 2000: *Slope Angle and Slope Length Solutions for GIS*. Cartography 29: 1-8.

HUISMAN, O. & DE BY, R. A., 2009: *Principles of Geographic Information Systems*. The International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), Netherlands. ISBN 978-90-6164-269-5.

CHEN, CH. & YAN, CH. & CAO, X. & GUO, J. & DAI, H., 2015: *A greedy-based multiquadric method for LiDAR-derived ground data reduction*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 102: 110-121.

CHILDS, C., 2004: *Interpolating Surfaces in ArcGIS Spatial Analyst*. ESRI Education Services.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, 2011: *Unmanned Aircraft Systems (UAS)*. Online: <http://www.icao.int/Meetings/UAS/>

ISENBURG, M. & LIU, Y. & SHEWCHUK, J. & SNOEYINK, J. & THIRION, T., 2006: *Generating raster DEM from mass points via TIN streaming*. Geographic Information Science. Springer Berlin Heidelberg.

JANEČEK, M., 2008: *Základy erodologie*. Fakulta životního prostředí, Česká zemědělská univerzita v Praze. ISBN 978-80-213-1842-7

JANEČEK, M. & KOL., 2012: *Ochrana zemědělské půdy před erozí. Metodika*. Fakulta životního prostředí, Česká zemědělská univerzita v Praze.

JAPAN SPACE SYSTEMS: *ASTER: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*. Online: http://www.jspacesystems.or.jp/en_project_aster/, cit. 3. 2. 2016.

JEDLIČKA, K. & MENTLÍK, P., 2002: *Hydrologická analýza a výpočet základních morfometrických charakteristik povodí s využitím GIS*. Sborník Geoinformatika z 20. sjezdu ČGS v Ústí nad Labem. ISBN 80-7044-410-X.

JENSON, S. K. & DOMINGUE, J. O., 1988: *Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing: 1593-1600.

JOHNSTON, K. & VER HOEF, J. M. & KRIVORUCHKO, K. & LUCAS, N., 2013: *Using ArcGIS Geostatistical Analyst*. ESRI.

KLIMENT, Z. & LANGHAMMER, J., 2005: *Modelování erozního ohrožení ve velkých územních celcích*. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, katedra fyzické geografie a geoekologie. Praha.

LAL, R., 1994: *Water management in various crop production systems related to soil tillage*. Department of Agronomy, The Ohio State University, USA.

LI, Z. & ZHU, CH. & GOLD, CH., 2005: *Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology*. CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC. ISBN-13 978-0-203-48674.

MARZOLFF, I. & POESEN, J., 2009: *The potential of 3D gully monitoring with GIS using high-resolution aerial photography and a digital photogrammetry system*. *Geomorphology*, Volume 111, Issues 1-2: 48-60.

MAUNE, D. F., 2011: *Digital Elevation Model (DEM) Whitepaper NRCS High Resolution Elevation Data*. USDA Natural Resources Conservation Service, National Geospatial Management Center, Texas, US.

MCCOOL, D. K. & FOSTER, G. R. & WEESIES, G. A., 1997: *Slope Length and Steepness Factors (LS)*. United States Department of Agriculture. Agricultural Research Service (USDA-ARS). Handbook 703.

MITÁŠOVÁ, H. & HOFIERKA, J. & ZLOCHA, M. & IVERSON, L. R., 1996: *Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS*. *Geographical Information Systems*, 10: 629-641.

MOORE, I. D. & GRAYSON R. B. & LADSON, A. R., 1991: *Digital terrain modeling: A review of hydrological, geomorphological, and ecological applications*. *Hydrological Processes*, 5: 3-30.

MOORE, I. D. & WILSON, J. P., 1992: *Length-slope factors for the revised universal soil loss equation: simplified method of estimation*. *Journal of Soil and Water Conservation*, 47: 423-428.

PEUCKER, T. K. & FOWLER, R. J. & LITTLE, J. J., 1978: *The Triangulated Irregular Network*. Department of Geography, University of Western Ontario. London, Ontario, Canada.

PIMENTEL, D. & GIAMPIETRO, M., 1994: *Food, Land, Population and the U. S. Economy*. Carrying Capacity Network.

- QUINN, P. & BEVEN, K. & CHEVALLIER, P. & PLANCHON, O., 1991: *The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modeling using digital terrain models*. Hydrol. Proc.
- RENARD, K. G. & FOSTER, G. R. & WEESIES, G. A. & MCCOOL, D. K. & YODER, D. C., 1997: *Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)*. United States Department of Agriculture, The United States of America. ISBN 0-16-048938-5.
- RUZGIENE, B. & BERTESKA, T. & GECYTE, S. & JAKUBAUSKIENE, E. & AKSAMITAUSKAS, V. C., 2015: *The surface modelling based on UAV Photogrammetry and qualitative estimation*. Measurement, 73: 619-627.
- SÁRKÖZY, F., 1998: *GIS Functions – Interpolation*. Technical University Budapest, Department of Surveying, Hungary. Online: http://www.agt.bme.hu/public_e/funcint/funcint.html
- SCHOWENGERDT, R. A., 2007: *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing*. Elsevier Inc. ISBN-13 978-0-12-369407-2.
- SCHWENDEL, A. C. & FULLER, I. C. & DEATH, R. G., 2010: *Assessing DEM Interpolation Methods for Effective Representation of Upland Stream Morphology for Rapid Appraisal of Bed Stability*. River Research and Applications, 28: 567-584.
- SKLENIČKA, P., 2003: *Základy krajinného plánování*. Nakladatelství Naděžda Skleničková, Říčany. ISBN 80-903206-1-9.
- SKLENIČKA, P. & JANOVSKÁ, V. & ŠÁLEK, M. & VLASÁK, J. & MOLNÁROVÁ, K., 2014: *The Farmland Rental Paradox: Extreme land ownership fragmentation as a new form of land degradation*. Faculty of Environmental Sciences, Czech University of Life Sciences Prague.
- SPETH, J. G., 1994: *Towards an Effective and Operational International Convention on Desertification*. New York (USA): United Nations.
- TARBOTON, D. G., 1997: *A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models*. Water Resources Research, 33: 309-319.

- TARBOTON, D. G., 2015: *D-Infinity Transport Limited Accumulation*. Online: <http://hydrology.usu.edu/taudem/taudem5/help53/DInfinityTransportLimitedAccumulation.html>, cit. 12. 11. 2016
- TEMPLETON, T. & SHIM, D. H. & GEYER, CH. & SASTRY, S. S., 2007: *Autonomous Vision-based Landing and Terrain Mapping Usingan MPC-controlled Unmanned Rotorcraft*. Robotics and Automation. 1-4244-0601-3.
- THE NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION, 2016: *Shuttle Radar Topography Mission*. Online: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>, cit. 13. 2. 2016.
- TOPPE, R., 1987: *Terrain models – A tool for natural hazard mapping*. International Association of Hydrological Sciences.
- VAN OOST, K. & GROVERS, G. & DESMET, P., 2000: *Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage*. Landscape Ecology, 15: 577-589.
- WILSON, J. P., 2011: *Digital terrain modeling*. Geomorphology 137: 107-121.
- WISE, S., 2000: *Assessing the quality for hydrological applications of digital elevation models derived from contours*. Department of Geography, University of Sheffield, UK.
- WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D., 1978: *Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conservation Planning*. United States Department of Agriculture, The United States of America.
- ZHANG, X. & DRAKE, N. A. & WAINWRIGHT, J. & MULLIGAN, M., 1999: *Comparison of slope estimates from low resolution DEMs: Scaling issues and a fractal method for their solution*. Earth Surface Processes and Landforms 24. 763–779.
- ZHANG, H. & YANG, Q. & LI, R. & LIU, Q. & MOORE, D. & HE, P. & RITSEMA, C. J. & GEISSEN, V., 2012: *Extension of a GIS procedure for calculating the RUSLE equation LS factor*. Computers & Geoscience 52. 177-188.

Seznam zkratek

CAD – computer-aided design (počítačem podporované projektování/kreslení)

ČÚZK – Český úřad zeměměřický a katastrální

DEM – Digital Elevation Model (digitální elevační model)

DMR – digitální model reliéfu

DSM – Digital Surface Model (DMP – digitální model povrchu)

DTM – Digital Terrain Model (digitální model terénu)

GDEM – Global Digital Elevation Map (globální výškový model)

GIS – geografické informační systémy

IDW – Inverse Distance Weighting (metoda inverzní vzdálenosti)

IFSAR – Interferometric Synthetic Aperture Radar (družicová radarová interferometrie)

JSS – Japan Space Systems

LiDAR – Light Detection and Ranging

NASA – The National Aeronautics and Space Administration

RUSLE – Revised Universal Soil Loss Equation (revidovaná univerzální rovnice ztráty půdy)

RMSE – Root Mean Square Error (střední kvadratická chyba)

S-JTSK – systém jednotné trigonometrické sítě katastrální

SRTM – Space Radar Topography Mission

TIN – Triangulated Irregular Network (síť tvořená nepravidelnou trojúhelníkovou vrstvou)

UAV – Unmanned Aerial Vehicle (bezpilotní letadlo)

USLE – Universal Soil Loss Equation (univerzální rovnice ztráty půdy)

USPED – Unit Stream Power-based Erosion Deposition

VGHMÚř – Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad

ZABAGED – základní báze geografických dat