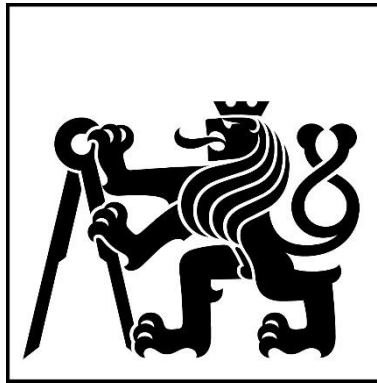


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ  
FAKULTA STAVEBNÍ**

**Katedra hydromeliorací a krajinného  
inženýrství**



**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Vyhodnocení rýhové eroze s využitím blízké  
fotogrammetrie**

**Tereza Kadlecová**

**Praha 2018**

**Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Josef Krása, Ph.D.**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební  
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

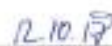

Příjmení: Kadlecová	Jméno: Tereza	Osobní číslo: 410685
Zadávající katedra: K143 - Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Inženýrství životního prostředí		

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Vyhodnocení rýhové eroze s využitím blízké fotogrammetrie	
Název diplomové práce anglicky: Analysis of rill erosion using close range photogrammetry	
Pokyny pro vypracování: Výpočet objemu erozních rýh v rámci testovacího pozemku v lokalitě Lbosín s využitím dat UAV a několika monitorovacích výšek letu - porovnání přesnosti výstupů a dopočet rozsahu poškození celého pozemku na základě vyhodnocení nejpodrobnějších dat. Popis metodiky vyhodnocení rozsahu smyvu.	
Seznam doporučené literatury: Žižala D., Krása J., Bačova M., Zelenkova K., Laburda T., Novotný I.: Monitoring erozního poškození půd v ČR nástroji dálkového průzkumu Země. Certifikovaná metodika, VUMOP, v.v.i., Praha, 2016, ISBN: 978-80-87361-63-4	
Jméno vedoucího diplomové práce: doc. Ing. Josef Krása, Ph.D.	
Datum zadání diplomové práce: 12.10.2017	Termín odevzdání diplomové práce: 7.1.2018
<i>Údaj uvedte v souladu s danou v časovém plánu příslušného ak. roku</i>	
 Podpis vedoucího práce	 Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Berit na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytovaných konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

 12.10.17 Datum převzetí zadání	 Podpis studentky
--	---

## Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Vyhodnocení rýhové eroze s využitím blízké fotogrammetrie vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.“

V Praze

.....

## Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat doc. Ing. Josefovi Krásovi, Ph.D. za pomoc, cenné rady a motivaci při vypracování této práce. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Markétě Báčové za poskytnutí potřebných podkladů. Děkuji také Ing. Janu Devátému za poskytnutí Scriptu, který vytvořil a v této práci je využit. V neposlední řadě patří díky celé katedře 143 za podporu při vypracování diplomové práce. Poděkování na tomto místě patří i mé rodině, která mě také nepřestala během práce podporovat.

## **ABSTRAKT**

Vyhodnocení rýhové eroze s využitím blízké fotogrammetrie

Tato diplomová práce pojednává o vyhodnocování rýhové eroze na základě využití blízké fotogrammetrie. Touto metodou bylo provedeno snímkování zájmového území v oblasti obce Lbosín. Snímkování bylo zpracováno softwarem Agisoft PhotoScan. Vygenerované ortofoto mapy a digitální modely terénu DEM byly dále zpracovávány programem ArcGIS, kdy byla vyhodnocena rýhová eroze na celém zájmovém území. Metodou analýzy jednotlivých typů erozní činnosti byly tyto vztaženy na celé zájmové území. Aplikací scriptu pro výpočet objemu rýh bylo zjištěno, že z území o celkové rozloze 0,291 km<sup>2</sup> bylo odneseno množství materiálu o celkovém objemu 802,6 m<sup>3</sup>. V práci jsou dále zpracovány dílčí výsledky analýzy rýhové eroze a je určeno procentuální zastoupení odlišných typů eroze na ploše zájmového území. Do analýzy rýhové eroze volným postupem vstupuje spousta nejistot a nepřesností. Proto je práce zakončena diskuzí nad výsledky a v samotném závěru komentuje volený postup.

Klíčová slova: rýhová eroze, blízká fotogrammetrie, ortofoto, digitální model terénu, Agisoft PhotoScan, ArcGIS

## **ABSTRACT**

Analysis of rill erosion using close range photogrammetry

This Master thesis deals with the analysis of the rill erosion on a specific area. This area is located close to Lbosín, a small village situated in the Benešov district. The rill erosion analysis has been done on the agricultural field next to the village. The rill erosion analysis was made by using the methods and principals of the close-range photogrammetry. The outcomes are the orthophoto model and the digital elevation model of the terrain, both generated by the Agisoft PhotoScan software. Those outcomes were processed in the program ArcGIS where the analysis of the rill erosion was done. The volume of the rills was calculated by using the script which allows processing of those calculations. One of the results of this analysis is that the total volume of rills is 802,6 m<sup>3</sup> on the surface of the area 0,291 km<sup>2</sup>. Other results, such as the detailed analysis of the different types of erosion and the methods of processing, are presented in this thesis. Because of the probability of uncertainty, the results are speculated at the end of the thesis and in the summary the chosen processes and methods of the analysis are commented.

Key words: Rill erosion, Close-Range Photogrammetry, Orthophoto, Digital Elevation Model, Agisoft PhotoScan, ArcGIS.

## OBSAH

OBSAH.....	7
1. ÚVOD .....	9
Úvod do problematiky .....	10
2. POPIS ÚZEMÍ.....	11
Bonitovaná půdně ekologická jednotka.....	14
Hlavní půdní jednotka.....	16
Využití území .....	16
3. OCHRANA PŮDY .....	17
Legislativa, kterou se řídí ochrana půdy .....	18
Bonitovaná půdně ekologická jednotka.....	18
4. VODNÍ EROZE.....	20
Dělení vodní eroze.....	20
Plošná eroze .....	20
Výmolná eroze.....	21
5. SRÁŽKY .....	24
6. FOTOGRAMMETRIE.....	25
7. AGISOFT PHOTOSCAN .....	28
8. PRAKTICKÁ ČÁST.....	31
Srážka.....	31
Postup práce .....	35
Zpracování snímků.....	37
Analýza rýhové eroze.....	40
9. VÝSLEDKY .....	75
Ortofoto 25 m a 100 m.....	75
Ortofoto 5 m a 15 m.....	77
10. DISKUZE VÝSLEDKŮ.....	77
Nejistoty.....	78

11.	ZÁVĚR.....	78
12.	SEZNAM TABULEK .....	80
13.	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	81
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	83



## 1. ÚVOD

Tématem této diplomové práce je vyhodnocení rýhové eroze s použitím blízké fotogrammetrie. Jak je patrné již ze samotného názvu, práce se zabývá dvěma širokými tématy, které navzájem propojuje.

Rýhová eroze je v současné době velmi rozšířeným typem poškození půdy. Jedná se o erozi vodní, konkrétně výmolnou. Tato eroze je způsobována převážně přívalovými dešti a často způsobuje velmi závažné poškození až devastaci půd. Pokud je na území zaznamenána silná srážková událost, dojde nejdříve k významnému povrchovému odtoku, voda se čím dál více soustřeďuje do specifických rýh, až celý proces vyústí silným soustředěným odtokem z povodí. Výsledkem je stržení a odnos ornice i dalších půdních vrstev vlivem tekoucí vody. Území ztrácí své vlastnosti, stává se méně úrodným a půda přichází o živiny. K navrácení pozemku do původního stavu jsou žádoucí protierozní opatření a snaha o udržování pozemku v takovém stavu, aby k erozi nedošlo znovu.

Druhou oblastí, kterou se tato diplomová práce zabývá, je fotogrammetrie, konkrétně fotogrammetrie blízká. Jedná se o typ snímkování, kdy snímaným objektem mohou být nejrůznější předměty. Práce pojednává o snímkování povrchu terénu a následném zpracování těchto snímků. Digitální blízká fotogrammetrie nachází velmi dobré uplatnění pro vyhodnocování erozních procesů. Samotná fotogrammetrie je v práci více přiblížena a jsou popsány postupy, jakými se snímkování provádí. V neposlední řadě je v práci specifikováno, jak s takovými snímky naložit. Práce se zabývá jejich zpracováním, vyhodnocením a následným užitím.

Práce dále ukazuje široké využití softwaru Agisoft PhotoScan, který používá metody fotogrammetrie a hojně se využívá v oblasti mapování a modelování povrchů terénu. Samotná analýza rýhové eroze je prováděna v programu ArcGIS, který v rámci dálkového průzkumu Země má také velmi bohaté využití.

Předmětem práce je tedy analýza proběhlé srážkové události a vyhodnocení následků srážkou způsobených, tedy erozní činnosti. Pro práci bylo určeno zájmové území, které bylo mapováno pomocí metody blízké fotogrammetrie. Na tomto území došlo k výrazné rýhové erozi, významnému povrchovému odtoku a poničení povrchu pozemků. Stěžejní částí práce je vyhodnocení rýhové eroze, kdy je výsledkem objem odneseného materiálu ze zájmového území.

Cílem práce je ukázat široké využití softwarů, služeb a programů pro zpracování dat pořízených metodami fotogrammetrie, nastínění možností jejich zpracování, zde konkrétně pro analýzu rýhové eroze. Dále je cílem podat představu o tom, jaké poškození na pozemcích může způsobit srážka o určité intenzitě a době trvání a za daných podmínek, a k jak velkému objemovému odnosu může dojít.

## Úvod do problematiky

Ze snímků pořízených metodou blízké fotogrammetrie je vyhodnocována rýhová eroze na definovaném zájmovém území. Toto území se nachází v okrese Benešov, zhruba 3 km od obce Býkovice. V blízkosti obce Býkovice je lokalizováno testovací území, které využívá katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství (K143) pro výzkumnou činnost v oblasti dálkového průzkumu Země. Nachází se zde také srážkoměr, kterým byla zachycena srážková událost dne 11. 8. 2017, jenž významně poznamenala pozemky v celé oblasti. Data z této události mohou být tedy vztažena na širší okolí obce Býkovice.

Zájmové území této diplomové práce bylo nasnímáno metodou blízké fotogrammetrie den po srážce a snímky byly dále zpracovávány. Pro toto zpracování bylo využito softwaru Agisoft PhotoScan. Rýhová eroze je dále vyhodnocována v programu ArcGIS. Podkladová data potřebná pro vyhodnocení této erozní činnosti jsou modely terénu zájmového území a dále data ke srážkové události. Modely terénu zájmového území byly vygenerovány na základě zpracování snímků pořízených metodou blízké fotogrammetrie na zájmovém území. Tyto materiály byly poskytnuty Ing. Markétou Báčovou v podobě modelu povrchu terénu – ortofoto, digitálního modelu terénu a dále byly k dispozici reporty vypovídající o zpracování těchto snímků softwarem Agisoft PhotoScan. Další poskytnutá data byla data o srážce. Jedná se o data ze srážkoměru a o radarové snímky. Toto bylo poskytnuto emailovou komunikací opět Ing. Markétou Báčovou.

Pro vyhodnocení objemu erozních rýh byl použit Script pro výpočet objemů rýh (Script Python, Calculate Volume Rills, který byl naprogramovaný, a tudíž i poskytnutý Ing. Janem Devátým).

## 2. POPIS ÚZEMÍ

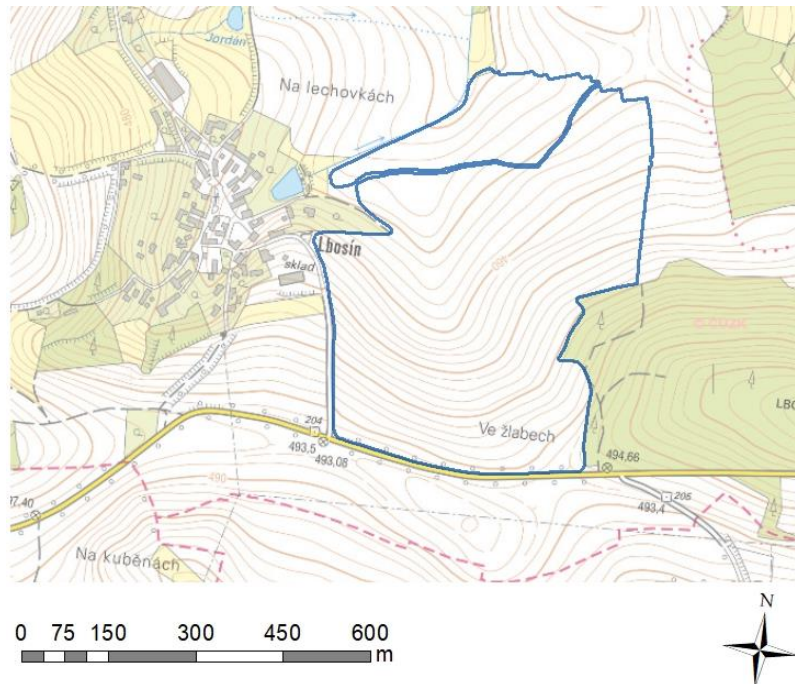
Řešené území se nachází jihovýchodně od Prahy, v místní části městyse Divišov ve Středočeském kraji, v okrese Benešov. Celé řešené území spadá do katastrálního území Lbosín, 679607 (okres Benešov). Řešeným územím je pole o rozloze 0,291 km<sup>2</sup> a nachází se západně vedle Lbosína. Pole je rozčleněno na několik menších částí, které spadají do vlastnictví obyvatel vesnice. Území leží v nadmořské výšce 490–440 m n.m. Pod obcí pramenící Lbosínský potok se vlévá spolu s několika dalšími potoky do Křešického potoka. Na obrázcích 1 až 3 je určena lokalita zájmového území.



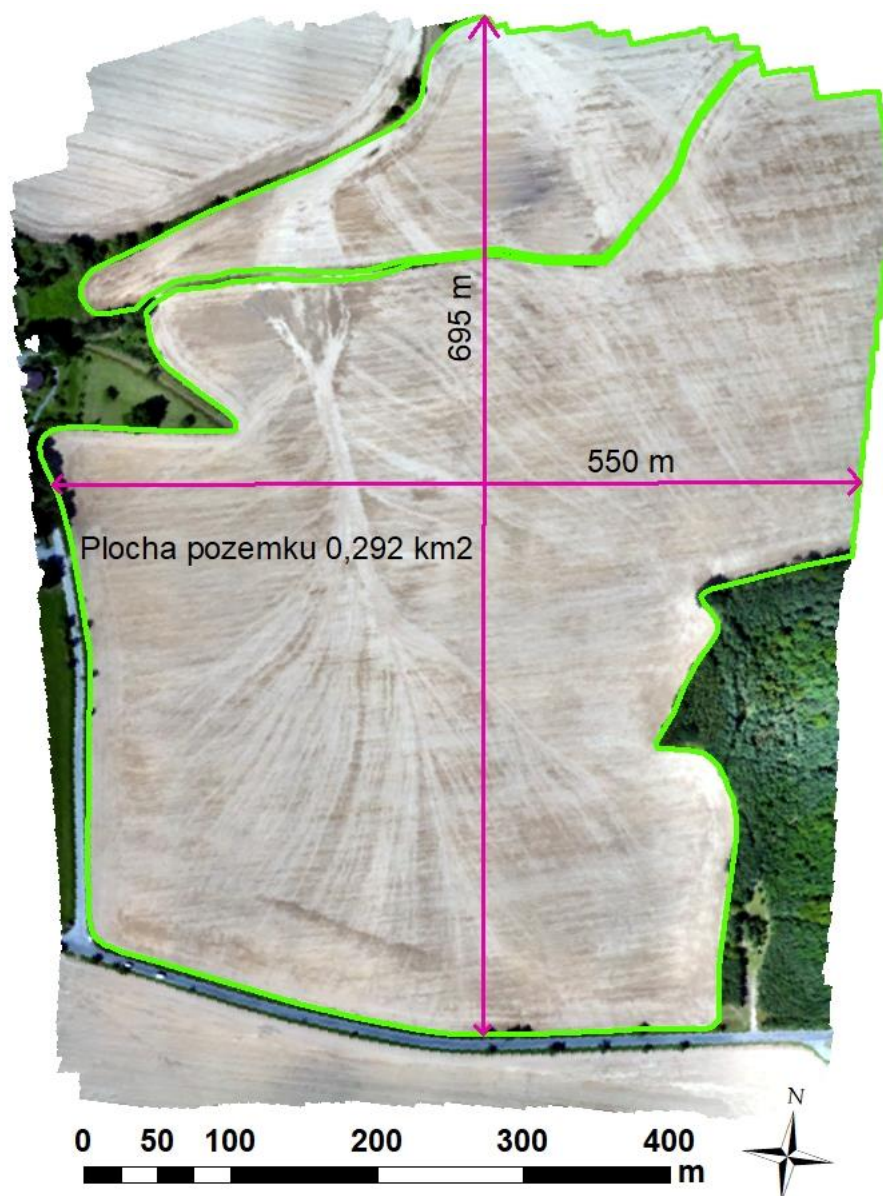
Obrázek 1: Určení lokality zájmového území  
Vytvořeno v programu ArcGIS, Zdroj: podkladová mapa ZM ČR 1:10 000, ArcGIS online



Obrázek 2: Určení lokality zájmového území  
Zdroj: ČÚZK nahlížení do katastru nemovitostí



Obrázek 3: Určení lokality zájmového území  
Vytvořeno v programu ArcGIS, Zdroj: podkladová mapa ZM ČR 1:10 000,  
ArcGIS online



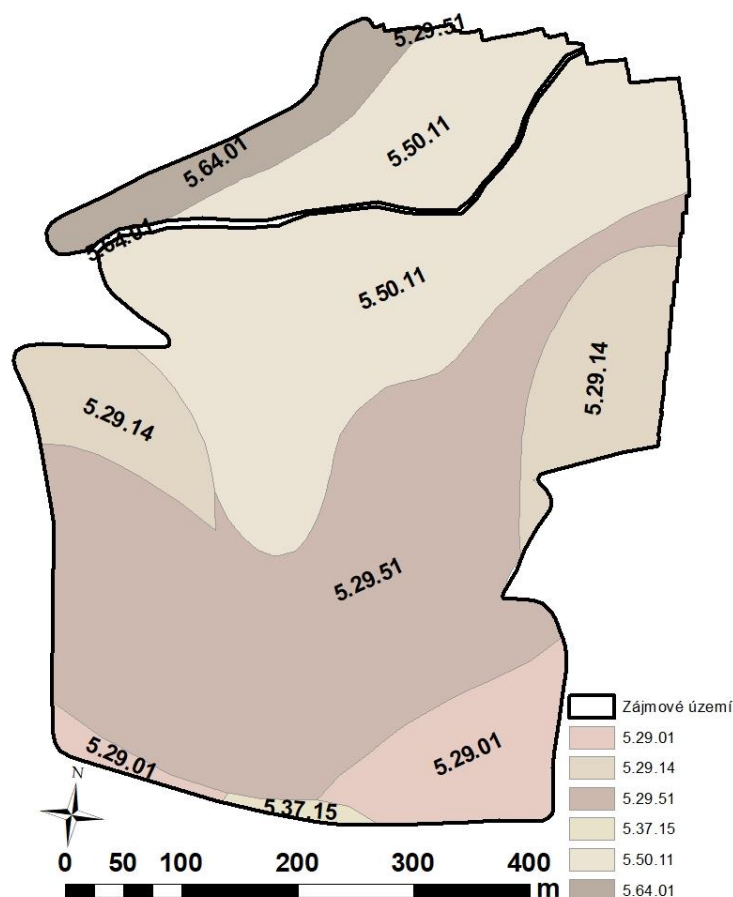
Obrázek 4: Rozměry zájmového území  
 Vytvořeno v programu ArcGIS, Zdroj: ortofoto 100 m, Agisoft PhotoScan

Dne 11. 8. 2017 byla v oblasti, kde se nachází zájmové území, zaznamenána srážka, která zapříčinila významnou erozní činnost. Před tím, než tato událost proběhla, nacházela se na pozemku čerstvě zasetá řepka ozimá. Plodina byla na pozemku zasetá dva až tři dny před událostí. Povrch pozemku se tedy nacházel ve stavu téměř referenčním – vzhledem k čerstvému zasetí byla půda pozemku holá, bez vegetace. Sešlo se zde několik faktorů, které podpořily vznik eroze. Období, kdy je řepka čerstvě zasetá a pozemek se nachází ve stavu bez vegetace, je obdobím nejvíce náchylným k tomu, aby došlo k jevu, který byl na zájmovém území zaznamenán. Pro řepku ozimou je výskyt srážky na daném území těsně po jejím zasetí tím nejrizikovějším pro vznik eroze. Na pozemku tedy došlo k významnému

povrchovému odtoku, který byl soustředěn do vodoteče pod pozemkem a dále odtékal pryč z povodí. Nacházela se zde také skruž tvořící odvodnění. Ta byla vlivem silného odtoku poničena a posunuta po pozemku. Ve spodní části území se nachází protierozní mez, která byla vlivem eroze také poškozena. Po tom, co proběhla srážka a pozemek byl opět ve stavu, kdy bylo možno jej obdělávat, byla na něm znovu zasetá řepka ozimá.

### Bonitovaná půdně ekologická jednotka

Na řešeném území se vyskytuje šest BPEJ. Z obrázku č. 5 je patrné plošné rozmístění daných BPEJ na zájmovém území. V tabulkách dále jsou uvedeny podrobnější informace o vyskytovaných se BPEJ – plošné zastoupení v rámci zájmového území, klasifikace BPEJ dle eKatalogu BPEJ a určení vyskytujících se HPJ.



Obrázek 5: Určení BPEJ na zájmovém území  
 Vytvořeno v programu ArcGIS, Zdroj: podkladová mapa ZM ČR 1:10 000, BPEJ, ArcGIS online

Z tabulky č. 1 lze vyčíst kód BPEJ, plochu území, kde se tato vyskytuje, a její procentuální zastoupení v rámci celého zájmového území.

*Tabulka 1: Plošné zastoupení BPEJ na zájmovém území  
Zdroj: plochy vypočítány v programu ArcGIS autorem*

BPEJ	Plocha (m <sup>2</sup> )	zastoupení BPEJ (%)
5.29.01	22082	8
5.29.14	14774	5
5.29.14	19852	7
5.29.51	112408	39
5.37.15	1739	1
5.50.11	106583	37
5.64.01	14262	5
SUMA	291701	

Z tabulky je patrné, že převládající BPEJ, která se vyskytuje na zájmovém území, je BPEJ 5.29.51 (zastoupena na 39 % plochy) a BPEJ 5.50.11 (zastoupena na 37 % plochy). Kód BPEJ určuje také tzv. hlavní půdní jednotku. Hlavní půdní jednotky zastoupených BPEJ jsou dále určeny v tabulce č. 2 a slovně popsány na str. 16.

Tabulka č. 2 určuje BPEJ zájmového území. Tato klasifikace byla vytažena z eKatalogu BPEJ dostupném online na stránkách Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy.

*Tabulka 2: Určení BPEJ na zájmovém území  
Zdroj: eKatalog BPEJ [1]*

Kód BPEJ	Třída ZPF	HPJ	Skupina půdních typů
5.29.01	II.	29	kambizemě
5.64.01	III.	64	gleje
5.50.11	III.	50	pseudogleje
5.37.15	V.	37	Kambizemě, rankery, litozemě
5.29.51	IV.	29	kambizemě
5.29.14	III.	29	kambizemě

Všech šest bonitovaných půdně ekologických jednotek spadá do pátého klimatického regionu, který zahrnuje v Čechách západní, jižní a východní část Plzeňské pahorkatiny, severní a východní část České křídové tabule, značnou část Středočeské pahorkatiny, Chebskou, Sokolovskou a Budějovickou pánev, na

Moravě pak jihovýchodní část Českomoravské vrchoviny, vyšší polohy Boskovické brázdy a pahorkatiny Opavsko-Hlučínské. [1]

## Hlavní půdní jednotka

Vyhláška č. 327/1998 Sb. uvádí v příloze 2 charakteristiku hlavních půdních jednotek. Jak je patrné již z tabulky č.2, rozlišuje se celkem 78 HPJ. Na řešeném území této diplomové práce se nachází celkem čtyři HPJ, a to:

29 – Kambizemě modální eubazické až mezobazické včetně slabě oglejených variet, na rulách, svorech, fylitech, popřípadě žulách, středně těžké až středně těžké lehčí, bez skeletu až středně skeletovité, s převažujícími dobrými vláhovými poměry.

37 – Kambizemě litické, kambizemě modální, kambizemě rankerové a rankery modální na pevných substrátech bez rozlišení, v podorničí do 30 cm silně skeletovité nebo s pevnou horninou, slabě až středně skeletovité, v ornici středně těžké lehčí až lehké, převážně výsušné, závislé na srážkách.

50 – Kambizemě oglejené a pseudogleje modální na žulách, rulách a jiných pevných horninách (které nejsou v HPJ 48,49), středně těžké lehčí až středně těžké, slabě až středně skeletovité, se sklonem k dočasnému zamokření.

64 – Gleje modální stagnogleje modální a gleje fluvické na svahových hlínách, nivních uloženinách, jílovitých a slinitých materiálech, zkulturněné, s upraveným vodním režimem, středně těžké až velmi těžké, bez skeletu nebo slabě skeletovité.

[12]

## Využití území

Na celém území se vyskytuje orná půda a je zde pěstována řepka ozimá. Řepka je stále častěji pěstovanou plodinou na území České republiky. Řepka, jakožto samostatná plodina, není zdaleka tak nebezpečnou co do vzniku eroze půdy. Eroze půdy je podporována stále řidší skladbou pěstovaných plodin na zemědělské půdě. Nejčastěji se jedná o ozimou pšenici, ozimou řepku, ječmen jarní a kukuřici. Pěstování řepky je pro pole pozitivní z hlediska schopnosti obohacování půdy o živiny. Na druhou stranu je to plodina celkem agresivní a likviduje veškerý plevel,



čímž se snižuje biodiverzita v krajině. Existuje tedy spousta kladů i záporů, proč řepku pěstovat či nepěstovat.

Co ale spíše ovlivňuje a podporuje erozní procesy půdy, je fakt, že se vyskytuje velké množství nepřerušovaných ploch osetých řepkou či jinými plodinami. Zde by se vyplatilo tyto plochy rozčlenit na menší celky, oddělit je od sebe a využít i rozmanitější volbu pěstovaných plodin. Dalším faktem z hlediska eroze a pěstování řepky je to, že období před zasetím řepky je pro vznik eroze kritickým. Toto období se vyskytuje v našich podmínkách tehdy, kdy je pravděpodobnost přivalových dešťů zhruba 30 %. Co by mohlo v tomto případě pomoci, je v rámci ochranného obdělávání setí řepky do celoplošně zkyprěného strniště a ponechání rostlinných zbytků. Tato metoda se jeví jako nejvhodnější v případě pěstování řepky. Celkově ponechání rostlinných zbytků na povrchu půdy přispívá ke zmírnění ztrát půdy vlivem eroze, vede to ke zlepšení půdních vlastností, zvyšuje se vlhkost a je podpořena i infiltrace půdy. [2, 3]

### 3. OCHRANA PŮDY

Půda je jedním z hlavních přírodních zdrojů, je základním výrobním prostředkem v oblasti zemědělství a její ochrana je klíčovým úkolem ve vztahu k její úrodnosti, při ochraně proti větrné a vodní erozi či zabránění kontaminace půdy nežádoucími látkami. Půda nám poskytuje obživu, prostor pro stavby, umožňuje růst a je nezbytná pro mnoho živočichů, kterým slouží jako životní prostředí či zdroj obživy. V současné době je i biomasa vzniklá v půdě využívána pro výrobu energie z obnovitelných zdrojů. V dnešní době dochází k vážným ztrátám půdy, jak kvůli rozmáhajícímu se záboru půdy pro stavby, tak kvůli špatnému hospodaření se zemědělskou půdou. Důsledkem špatného hospodaření je špatná kvalita humusu nebo poruchy biologické aktivity půdy. Živiny dodávané z hnojiv jsou pak méně účinné a klesá tak i výnosová stabilita pěstovaných plodin. Takto devastovaná půda ztrácí schopnost infiltrace a mění se její struktura i textura, zvyšuje se povrchový odtok a eroze půdy je tak více podporována. Dále je pak půda více náchylná vůči vlivu přivalových dešťů.

Krajina je rozdrobena do menších celků, což přispívá ke zhoršení schopnosti zadržet v ní vodu. Urbanizovaná krajina se nedokáže dostatečně vyrovnat se změnami klimatu a s přírodními jevy. Toto člověk dokáže těžko ovlivnit. Ke snížení půdní eroze však dokážeme přispět v rámci hospodaření, kdy bychom měli respektovat klimatické a přírodní podmínky dané oblasti. Dále je nasnadě hledat nová systémová řešení v rámci hospodaření se zemědělskou půdou tak, abychom docílili zvýšení úrodnosti půdy a zajistili trvale udržitelný způsob hospodaření s půdou. [4, 5]

### Legislativa, kterou se řídí ochrana půdy

- Zákon č. 344/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu. Ministerstvo životního prostředí vykonává funkci ústředního orgánu státní správy v ochraně ZPF. Zákon vymezuje ZPF, stanovuje nástroje jeho kvalitativní a kvantitativní ochrany, režim odnámání zemědělské půdy ze ZPF a odvody za odnětí zemědělské půdy, vymezuje orgány ochrany ZPF a upravuje výkon státní správy na úseku ochrany ZPF, stanovuje sankce za správní delikty a zmocňuje MŽP k vydání prováděcích předpisů a vyhlášek.
- Vyhláška č. 48/2011 Sb., o stanovení tříd ochrany. Vyhláška Ministerstva životního prostředí která, stanovuje třídy ochrany pomocí bonitovaných půdně ekologických jednotek. Stanovuje pět tříd ochrany.
- Vyhláška č. 327/1998 Sb., ve znění vyhlášky č. 546/2002. Vyhláška Ministerstva zemědělství, kterou se stanoví charakteristika BPEJ a postup pro jejich vedení a aktualizaci. [1, 6, 7, 8, 9, 25]

### Bonitovaná půdně ekologická jednotka

Bonitace je způsob zhodnocení zemědělského území nebo pozemků, a to z hlediska hospodářského ocenění, určení klimatu a reliéfu. BPEJ je základní mapovací a oceňovací jednotkou bonitační soustavy. Bonitace poskytuje komplexní systém hodnocení půdy s širokým využitím zejména ve státní správě. BPEJ tedy určují několik znaků, podle kterých můžeme půdy klasifikovat. Tím nejvyšším hlavním znakem je klimatický region, kterých je na území ČR celkem

deset. Dále je to hlavní půdní jednotka, která je charakterizována genetickými půdními typy a subtypy a geologickým substrátem půd s určitým charakterem zrnitosti. Na území ČR je vymezeno celkem 78 HPJ. Konečně bonitovaná půdně ekologická jednotka je znak, který spojuje všechny dílčí znaky do jednoho celku. BPEJ je tedy spojením klimatické oblasti a HPJ, dále kombinací faktorů svažitosti, expozice, šterkovitosti, kamenitosti a hloubky půdního profilu. Jejich vlastnosti jsou systémově uspořádány do pětimístného kódu. Systém BPEJ se využívá zejména k charakteristice půd na území ČR, určování úrodnosti zemědělské půdy, k projekci pozemkových úprav, k naceňování jednotlivých pozemků, kategorizaci zemědělského území a ochraně ZPF. Pro tento účel byl vytvořen návrh oceňování zemědělské půdy v ČR. Byly navrženy úřední ceny orné půdy. [10, 11]

Bonitovaná půdně ekologická jednotka je charakterizována pětimístným kódem. V tabulce č. 2 je uvedeno, co jednotlivé číslice v kódu vyjadřují. Dohromady existuje 2278 kódů BPEJ.

Tabulka 3: Význam kódu BPEJ  
Zdroj: eKatalog BPEJ [1]

Označení kódů BPEJ	Význam kódu	Rozsah hodnot
X.xx.xx	Kód klimatického regionu	0 – 9
x.XX.xx	Kód hlavní půdní jednotky	01 – 78
x.xx.Xx	Sdružený kód sklonitosti a expozice	0 – 9
x.xx.xX	Sdružený kód skeletovitosti a hloubky půdy	0 – 9

Nejčastěji zastoupenou BPEJ je BPEJ s kódem 7.50.11. V následující tabulce je na tomto konkrétním příkladu uvedeno, co které číslo znamená. [1]

Tabulka 4: Význam kódu BPEJ 7.50.11  
Zdroj: eKatalog BPEJ, [1]

Označení kódů BPEJ	Význam kódu
7.50.11	Klimatický region mírně teplý, vlhký
7.50.11	HPJ 50 - pseudogleje
7.50.11	Mírný sklon 3 – 7°, rovina se všesměrnou expozicí
7.50.11	Bezskeletovitá, slabě skeletovitá s celkovým obsahem skeletu do 25%, půda hluboká, středně hluboká, od 30 cm

## 4. VODNÍ EROZE

Voda je přírodní živel, bez kterého by nemohla probíhat řada přírodních procesů a bez kterého by nebyl život. Voda má široké využití v zemědělství, průmyslu, v běžném životě každého z nás. Veškeré přírodní procesy jsou do určité míry přínosné a žádoucí. Jakmile se k nim ale přidá činnost člověka, tato míra může být velmi snadno překročena a proces se stává nežádoucím a má negativní vliv na prostředí kolem nás. Takovýmto negativním procesem, pokud je řeč o vodě, je vodní eroze.

Vodní eroze je vyvolána kinetickou energií dešťových kapek dopadajících na půdní povrch a mechanickou silou povrchově stékající vody. Dochází k transportu půdních částic či rozrušování povrchu půdy. Při vodní erozi narušuje tekoucí voda povrchovou půdní strukturu a vyplavuje půdní částice a živiny. Důsledky eroze postihují zemědělství a další průmyslová odvětví. Pokud se jedná o méně intenzivní erozní procesy, dochází k odnosu jemných půdních částic, čímž se mění struktura a textura půdy a také vodní kapacita. Dochází k celkovému poklesu úrodnosti půdy. V případě intenzivnějších erozních procesů může docházet až ke smyvu celé půdní vrstvy a obnažení půdního podkladu. Splaveniny odnesené z pozemků zanášejí vodní toky, což je samozřejmě nežádoucí. Dále jsou jimi zanášeny vodní nádrže a je negativně ovlivněno zásobování pitnou vodou. Společně s pevnými částicemi pronikají do povrchových vod i chemické látky používané ke hnojení a ochraně rostlin.

### Dělení vodní eroze

Podle formy se vodní eroze dělí na plošnou, výmolnou a proudovou.

#### Plošná eroze

Plošná eroze je způsobena dopadajícími srážkami na území a povrchovým odtokem. K povrchovému odtoku dochází v momentě, kdy je dosažena maximální infiltrační schopnost půdy a k infiltraci vody už nemůže docházet. Tato eroze způsobuje rovnoměrný odnos půdy v tenkých vrstvách a může zasahovat rozlehlé plochy, které se nacházejí ve svazích. Pokud území zasáhla plošná eroze a nedošlo k nápravě a navrácení do původního stavu, mohou být pozorovány trvalé následky. Může docházet k odnosu živin a dalších organických látek, tím pádem ke ztrátě

produktivity půdy. O průběhu eroze rozhoduje především sklon svahu. Také je třeba brát ohled na další faktory jako charakter podloží, vlhkostní poměry či stav vegetace. K nebezpečnému rozrušování půdního povrchu dochází v tom místě svahu, kde se plošný povrchový odtok mění v odtok soustředěný a kde se plošná eroze mění ve výmolnou. [13, 14, 15]

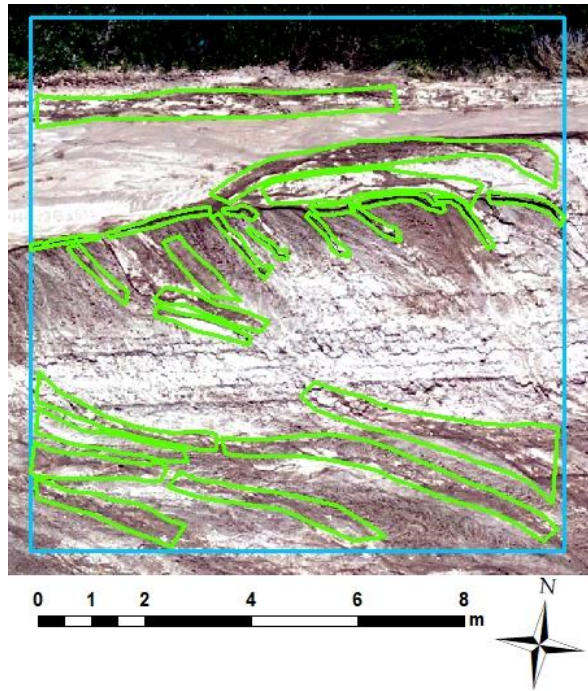
### Výmolná eroze

Tato práce pojednává o erozi výmolné. Povrchově stékající voda se postupně soustřeďuje a vymývá v půdním povrchu zářezy, kterými následně odtéká. Tyto zářezy se postupně prohlubují. Prvním stadiem výmolné eroze je eroze rýžková a brázdová, kdy vzniká hustá síť drobných úzkých zářezů. Ty se postupně prohlubují a spojují. Dalším stadiem výmolné eroze je eroze rýhová. Stékající voda prohlubuje půdní povrch do hlubších rýh, ve kterých dochází k soustředěnému odtoku. Rýhy se mohou dále spojovat a stále prohlubovat, dochází tak k zesilování proudu vody, tím pádem k silnějšímu a závažnějšímu odnosu materiálu z území. [13, 14, 15]

Na obrázku č. 6 je vystižena názorná ukázka rýhové eroze vyskytující se na čtverci o rozměrech 10 x 10 m na zájmovém území. Na obrázku č. 7 je tato eroze analyzována a jsou definovány jednotlivé erozní rýhy. Lze vidět, že rýhy o různé šířce se spojují až se vytvoří jedna rýha, která soustřeďuje tekoucí vodu a odnáší ji z definovaného území.



*Obrázek 6: Rýhová eroze  
Vytvořeno v programu ArcGIS  
Podklad: ortofoto 25 m, zdroj: Agisoft PhotoScan*



*Obrázek 7: Rýhová eroze – určení rýh  
Vytvořeno v programu ArcGIS  
Podklad: ortofoto 25 m, zdroj: Agisoft PhotoScan*

Ještě vyšší stupeň rýhové eroze je eroze výmolová, kdy vznikají zářezy o hloubce větší než 30 cm a postupně výmoly tvaru V nebo U. Tyto výmoly představují takovou destrukci území, která znemožňuje překročení rýh pouhou nohou a znemožňuje i obdělávání pozemků zemědělskými stroji. Vypořádání se s výmolovou erozí je značně náročnější a vyžaduje speciální zemní práce. Vyšším stadiem výmolové eroze je eroze stržová. Tato eroze je nebezpečná a devastuje území. Další charakteristiky svahu, které mají vliv na vznik a průběh eroze jsou délka svahu nebo geologické a půdní poměry. Eroze rýhová a výmolová je nejčastější formou vodní eroze po celém světě. [13, 14, 15]



Obrázek 8: Stádia výmolné eroze  
Zdroj: autor

Ze všeho výše zmíněného je patrné, že vodní eroze může mít v dnešní době velmi negativní účinky. Je tedy jednoznačné, že se proti ní musí bojovat. Nejlépe učiníme, pokud budeme omezovat intenzitu eroze v místě vzniku, na jednotlivých pozemcích. K vyhodnocení erozní činnosti na svazích existuje řada způsobů, které vycházejí z rozboru jednotlivých erozních faktorů a z jejich vlivu na erozní proces. Aplikuje se mnoho druhů protierozních opatření. Je to například ochranné zatravnění, kdy je pozemek plošně zatravněn a účelem je ochrana údolnice před účinky soustředěného odtoku. Používá se tam, kde bylo provedeno scelení pozemků orné půdy rozoráním původně zatravněných údolnic. Dalším opatřením jsou protierozní osevní postupy, které jsou voleny tak, že z rotace plodin jsou vyřazeny ty nejvíce ohrožené. Dále můžeme zmínit například pásové střídání plodin – střídání pásů plodin s nízkým protierozním účinkem s pásy plodin s vysokým protierozním účinkem. [16]

Tabulka 5: Faktory ovlivňující vodní erozi [16]

Faktory	Popis
Klimatické a hydrologické poměry	Výskyt a intenzita srážek, teplota ovzduší, výpar, odtok, výskyt a intenzita větru
Územní poměry	Sklon a délka svahů, expozice svahů
Půdní poměry	Souhrn jednotlivých vlastností půdy – textura, struktura, vlhkost a zvrstvení půdy
Geologické poměry	Půdní substrát, vlastnosti geologického podkladu, odolnost geologického podkladu vůči tekoucí vodě
Porostní poměry	Druh vegetace, kořenové zpevnění – vliv na stupeň ochrany půdního povrchu
Hospodářsko – technické poměry a sociálně ekonomické poměry	Způsob užívání a obhospodařování půdy, volba a umístění kultur, zařazení do osevních postupů, provedení technických zásahů

## 5. SRÁŽKY

Srážky jsou vodní kapky či ledové krystalky, které vznikají kondenzací nebo desublimací vodní páry v ovzduší. Vyskytují se buď v atmosféře nebo na povrchu Země v kapalně nebo pevné fázi. V rámci charakteristiky srážek se určuje srážková výška (mm), trvání srážky (min, hod), intenzita (mm/min, mm/hod) a tvar srážky. Tvar srážek představuje souhrnné označení druhů srážek padajících nebo usazených podle jejich klasifikace. Jedná se o srážky vertikální či horizontální. [17]

Pokud jsou padající srážky vodní kapky o průměru větším jak 0,5 mm, jedná se o déšť. Z hlediska intenzity deště se rozlišuje déšť trvalý, průměr kapek 1 – 3 mm a déšť přívalový či liják. Ty jsou spojené s bouřkami a kapky dosahují průměru až 6 mm. S přívalovým deštěm souvisí konvekční (přeháňkové) srážky, které mají lijákový charakter, krátkou dobu trvání a velkou intenzitu. Vyskytují se místně. Trvalé srážky naopak trvají delší dobu, mají celkem stálou intenzitu a vyskytují se nad většími územními celky. Silné deště mohou negativně působit na pozemcích



nebo při rozvodnění vodních toků. Především přívalové deště jsou charakteristické způsobováním škod. Dochází k nasycení půdy, kdy se voda již nestačí infiltrovat a přirozeně odtékat. Dochází k povrchovému odtoku, který může zasáhnout zemědělské plochy a může odnášet plodiny, dochází ke splavení ornice. Po odeznění přívalového deště a období bez srážek může půda rozpraskat do hloubky a je podpořeno vysušování půdy. Dalším následkem tohoto prohlubování prasklin může být znemožnění dostatečného zakořenění rostlin. Není tak v pořádku kořenový systém a ani půdní profil. Biologický potenciál rostlin tak není plně využit. Celkově klesá úrodnost půdy a její využitelnost. Při ještě silnějších vlivech přívalových dešťů dochází k sesuvům půdy a velmi značné erozní činnosti. K těmto škodám a negativním důsledkům dochází v případě přívalových dešťů velmi rychle, v rádech jednotek až desítek minut. [5, 18]

## 6. FOTOGRAMMETRIE

Fotogrammetrie je vědní obor geodézie a kartografie, který se zabývá zpracováním informací získaných o objektech měření z obrazových záznamů, nejčastěji z fotografických snímků. Tento vědní obor má velice dlouhou a zajímavou historii, ať už se jedná o vynález dírkové komory, první fotografii nebo konstrukci moderního objektivu. O uplatnění fotogrammetrie při mapování lze hovořit od roku 1861. Existuje vícero dělení fotogrammetrie. Následující schéma uvádí jednotlivá rozdělení a fotogrammetrie, které podle nich rozlišujeme.



Obrázek 9: Rozdělení fotogrammetrie

Podle polohy stanoviska, z něhož byl snímek pořízen, dělíme fotogrammetrii na pozemní a leteckou. Fotogrammetrie letecká se používá hojně pro vyhodnocování plošných erozních procesů. Díky stereofotogrammetrii a průsekové fotogrammetrii lze vytvářet detailní modely povrchů, které zastihla eroze a lze díky nim určit erozní smyv. V této práci se setkáváme s fotogrammetrií pozemní neboli blízkou. Při pořizování snímků lze přesně určit souřadnice stanoviska i prostorovou orientaci snímku. Zpracování takovýchto snímků je tedy výrazně jednodušší. Pozemní fotogrammetrie se hodí především pro objekty, které jsou přibližně ve stejné vzdálenosti od snímacího zařízení. V dnešní době má blízká fotogrammetrie stále širší využití a zkouší se nové oblasti využití. Používá se na dokumentaci památkových objektů, tvorbu digitálního modelu terénu, tvorbu map a plánů, 3D modelů nejrůznějších předmětů apod.

Digitální fotogrammetrie je v současnosti používána nejvíce pro tvorbu digitálního ortofota a pro 3D vektorové vyhodnocení měřických snímků. Digitální technologie zaznamenaly rychlý vývoj a jsou čím dál tím přesnější. Tedy i tvorba ortofota je přesnější, díky čemuž se stalo častým produktem právě digitální fotogrammetrie. Při zpracování snímků pořízených digitální fotogrammetrií dochází k nezanedbatelné deformaci obrazu, a to při již poměrně malých převýšeních. Převod středového promítání na ortogonální – ortofoto – umožňuje pracovat s obrazovou informací jako s mapou a vkládat ji jako datovou vrstvu do

GIS. Princip digitálního ortofota spočívá právě v odstranění radiálních posunů jednotlivých pixelů, které jsou způsobeny proměnlivými výškovými poměry terénu.

### **Problémy při tvorbě digitálního ortofota:**

- nedostatky v softwarových programech – selhání korelace např. v momentě, kdy se na snímku vyskytuje homogenní plocha (voda, sníh) – korelace je přibližně stejná a software vytváří nesmyslné výsledky;
- výskyt umělých objektů – nespojitá změna výšky objektů (dům apod.), zpracováním jsou tyto objekty zdeformovány;
- výskyt vysokých a rozlehlých staveb, vegetace, stožárů – jsou rozpoznány stejné body na střechách, vegetaci či stožárech a DMT tedy není modelem rostlého terénu, ale zaznamenává i objekty;
- i přes možnosti nastavení korelačního koeficientu může docházet k chybám;
- problém zakrytých prostor – vznikají zejména u okrajů snímků u vysokých předmětů. [19, 20, 23]

UAV fotogrammetrie je další typ snímkování, tzv. bezpilotní snímkování. V současné době je tento typ snímkování často využíván. UAV neboli Unmanned Aerial Vehicle je bezpilotní letadlo, které může být řízeno na dálku nebo může létat samostatně pomocí předem určených letových plánů. Tato metoda kombinuje výhody fotogrammetrie letecké a pozemní. Monitoring pomocí UAV je využíván pro detailní určení erozních procesů a vyšších forem eroze, zejména pak vývoje erozních rýh a strží. V oboru erozní problematiky se v posledních letech využívají multirotorové systémy pro snímkování. Nejčastěji se jedná o kvadrokoptér, hexakoptér či oktokoptér. [23]



Obrázek 10: DJI F550 hexakoptér  
Zdroj [24]

## 7. AGISOFT PHOTOSCAN

Podkladový materiál pro tuto diplomovou práci – digitální model terénu a ortofoto snímky – byly vygenerovány pomocí softwaru Agisoft PhotoScan.

Agisoft PhotoScan (dále jen Agisoft) je profesionální software, který zpracovává digitální fotografie a vytváří texturované 3D modely zachycených scén. Tyto modely jsou vhodné i pro profesionální výstupy a mají široké využití v GIS aplikacích. Zachycovanou scénou může být terén, budova, interiéry staveb a další libovolné předměty. Agisoft byl vyvinut v roce 2006 a díky pokračování v jeho vývoji a využívání technik digitální fotogrammetrie se tato oblast stále dál posouvá. Agisoft je dnes velmi úspěšný produkt na trhu a je velmi oblíbeným softwarem využívajícím metody fotogrammetrie. Pomáhá uživatelům jednoduše zpracovávat 3D modely, vizualizace, průzkumy či mapování oblastí. Agisoft může být využíván pro fotogrammetrickou triangulaci, práci s bodovým mračnem, generování DMT a ortofota, měření vzdáleností, ploch a objemů, multispektrální zpracování snímků, 3D a 4D modelování a další. [21, 22]

Pro zpracování snímků a tvorbu 3D modelů lze využít spoustu dalších softwarů, které jsou snadno dostupné.

Tabulka 6: Příklady softwarů používaných pro fotogrammetrické zpracování dat a tvorbu 3D modelů [24]

<b>Komerční</b>	
<b>Software</b>	<b>Komentář</b>
PhotoModeler Scanner	stereofotogrammetrické zpracování dat
Agisoft PhotoScan	zpracování metodou Structure from Motion vysoká přesnost, téměř automatické zpracování dat
<b>Webové stránky a služby</b>	
<b>Software</b>	<b>Komentář</b>
123D Catch - Autodesk	zdarma pouze tzv. trial verze (omezené možnosti využití oproti plné verzi)
Pix4D	webová služba, model povrchu je generován na serverech poskytovatele služby, cenově podstatně dražší oproti Agisoftu, nabízí komplexní služby
<b>Volně dostupné</b>	
<b>Software</b>	<b>Komentář</b>
	obecně jsou volně dostupné softwary někdy nepřehledné a obtížněji ovladatelné, problém s licenčními podmínkami
OpenDroneMap	nemá grafické rozhraní, ovládá se pomocí příkazového řádku
VisualSFM	náročná instalace, potřeba doplňkových softwarů

Software Agisoft je pro zpracování snímků, využití fotogrammetrických metod a tvorbu 3D modelů uživatelsky nepřívětivější. Zpracování dat probíhá téměř automaticky a vygenerované výsledky jsou velmi přesné a podrobné. Zpracování dat softwarem Agisoft probíhá na principu průsekové fotogrammetrie tzv. metodou Structure from Motion (SfM). Stěžejní pro tuto metodu je pořízení snímků daného objektu z více úhlů, kdy jsou zachyceny charakteristické znaky objektu. Dále dojde k určení významných bodů, ze kterých software vypočítá pozici a parametry snímacího zařízení. Tento výpočet probíhá automaticky bez použití vlíčovacích bodů. Vyrovnání všech parametrů (souřadnic bodů, pozice a rotace kamer) je

provedeno na základě svazkového vyrovnání. Dále je v Agisoftu vytvořeno bodové mračno, a to následujícím postupem:

- Import snímků – Add Photos
- Spojení snímků, orientace a vytvoření řídkého bodového mračna – Align Photos
- Vytvoření hustého bodového mračna – Build Dense Point Cloud
- Vytvoření sítě z bodového mračna – Build Mesh
- Vygenerování modelu povrchu či terénu – Export Orthophoto, Export DEM
- Vygenerování reportu – Generate Report [24].

V krocích tvorba řídkého bodového mračna, tvorba hustého bodového mračna a vytvoření sítě z bodového mračna se v nastavení volí úroveň kvality výpočtů. Kombinace se dají navolit z následujících úrovní:

- nejnižší – lowest;
- nízká – low;
- střední – medium;
- vysoká – high;
- velmi vysoká – ultra high.

Kombinace nejnižších úrovní nemá praktické uplatnění. Výpočty sice nejsou příliš časově náročné, nicméně výsledný produkt není dostatečně kvalitní, vygenerované mapové podklady nemají dostatečné rozlišení pro jejich další zpracování. Kombinace vyšších úrovní už poskytují kvalitnější výsledky. Je samozřejmě, že nejvíce žádoucí jsou co nejpřesnější výstupy, tudíž je směřováno k volbě kombinací vyšších úrovní. Je však na místě sledovat časovou náročnost daných kroků výpočtů, současně s kvalitou výstupů a vyhodnotit, která kombinace je pro uživatele tou nejvhodnější. Záleží tedy na požadavcích uživatele na kvalitě výstupu.

Pro tvorbu řídkého bodového mračna není na místě volit nejnižší a nízkou úroveň, kdy dochází ke zřetelnému zmenšování kvality vstupních snímků. Stejně tak není vhodné volit úroveň nejvyšší, kdy dochází naopak ke zvětšování snímků, tudíž ke zkreslování. Ideální je tedy v tomto případě volit úroveň střední či vysokou.

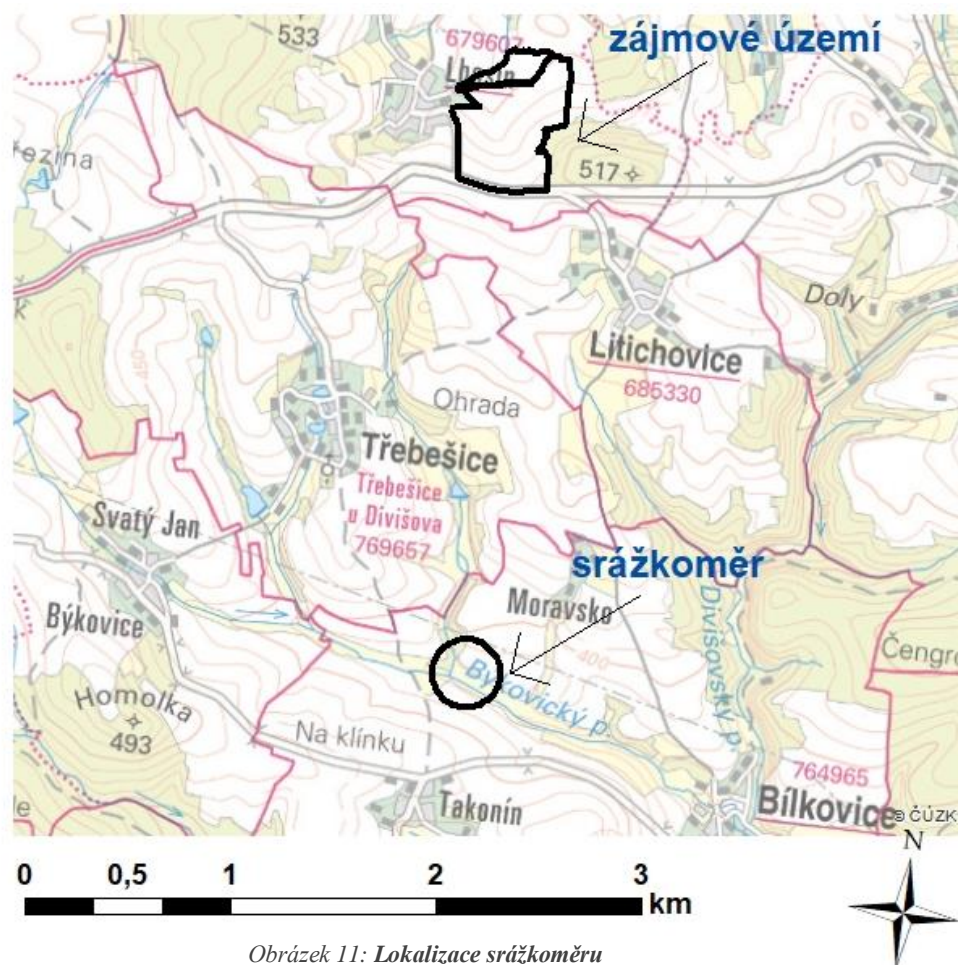
Pro krok vytvoření hustého bodového mračna a nastavení kvality úrovně záleží na tom, jak moc detailní výstup uživatel požaduje. A konečně pro vytvoření sítě z bodového mračna se volí ještě mezi možnostmi Arbitrary a Hight Field, kdy se zohledňuje povrch vstupních snímků. Pro povrchy blízkých objektů (například sochy, fasády budov apod.) se volí možnost Arbitrary. Pro snímky terénu a letecké snímky se volí Hight Field

V případě využívání softwaru pro vyhodnocování erozní činnosti a mapování může být výstupem ortofoto – digitální model povrchu a DEM – digitální model terénu. Dále je výstupem report, kde je shrnutý celý proces výpočtů, které proběhly. V reportu je zahrnuto: obecný přehled o vstupních datech – počet snímků, výška náletu, informace o snímacím zařízení, kalibrace zařízení, určení souřadnic kontrolních bodů, digitální model terénu, náhled ortofota a dílčí časy výpočtů jednotlivých kroků postupu. Dále jsou v práci uvedeny konkrétní výstupy z reportů vztahující se ke zpracování snímků pro zájmové území.

## 8. PRAKTICKÁ ČÁST

### Srážka

V oblasti zájmového území proběhla dne 11. srpna 2017 srážka a byla impulsem ke vzniku eroze, která je analyzována v této práci. O srážce jsou zpracována data dostupná ze srážkoměru, který je vzdálen 3 km od daného místa v obci Býkovice.

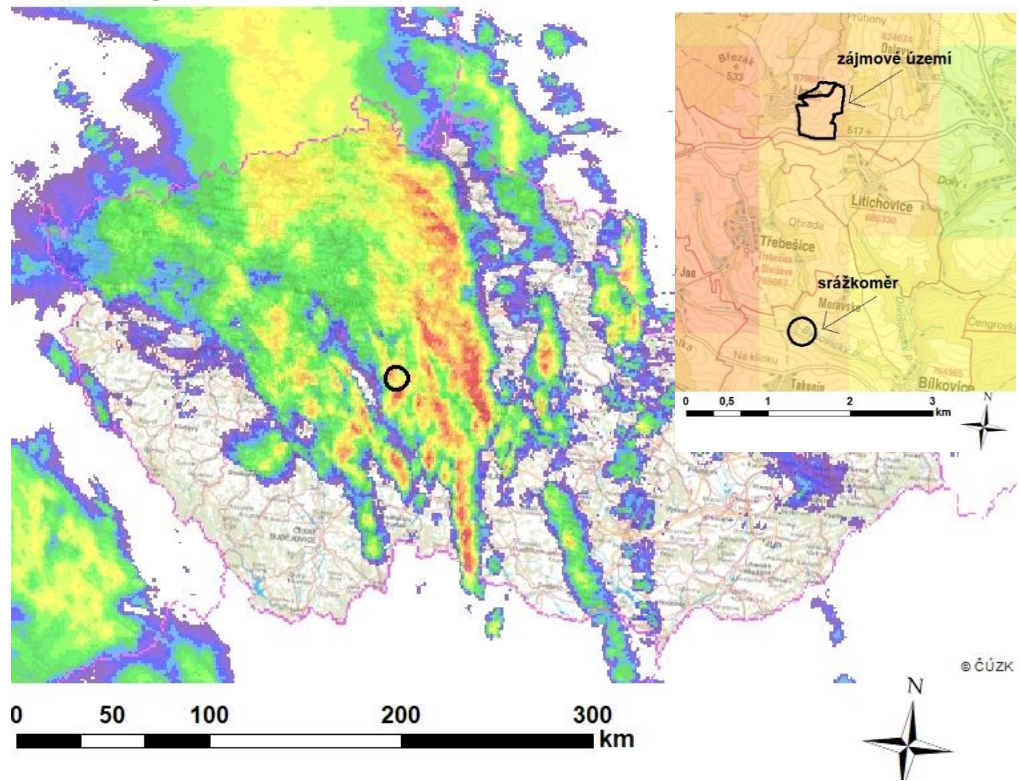


Obrázek 11: Lokalizace srážkoměru  
 Vytvořeno v programu ArcGIS  
 Zdrojová data: Základní mapa ČR ZM 10, ArcGIS Online

Data ze srážkoměru jsou dostupná po celou dobu trvání události. Srážka byla monitorována po dobu 12 hod 10 min a naměřený srážkový úhrn v místě srážkoměru byl 38,4 mm. Svého vrcholu dosáhla srážka v čase 14 hod 40 min, kdy byl naměřený úhrn srážky 4,2mm/5min. K dané události jsou dostupné radarové snímky, které zachycují průběh celé srážky nad územím České republiky. Radarové snímky, které odpovídají časům 14 hod 00 min, 14 hod 45 min a 15 hod 00 min byly zpracovány a georeferencovány v programu ArcGIS. Toto je uvedeno na obrázcích č. 12, 13 a 14. Je tak naznačeno, jak probíhala srážka v místě srážkoměru, odkud pochází naměřená data, a v místě zájmového území vzdáleném zhruba 3 km. Ze snímků je patrné, že v těchto třech časech byla intenzita srážky v místě srážkoměru a v místě zájmového území zhruba stejná.



## Radarový snímek 14:00

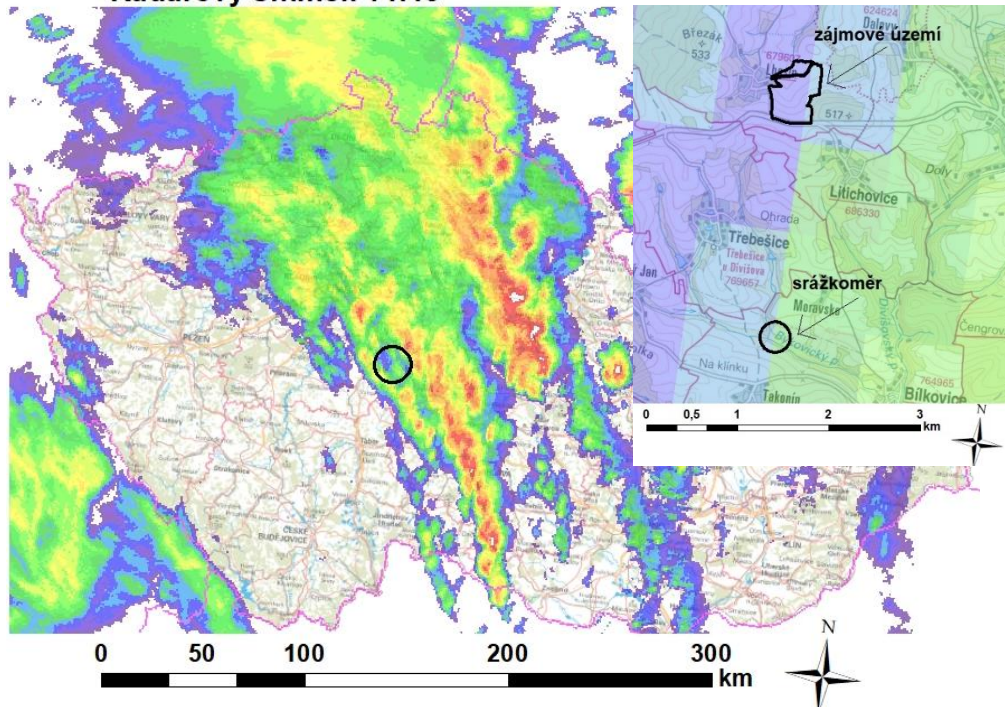


Obrázek 12: Radarový snímek zachycující srážku v čase 14:00

Vytvořeno v programu ArcGIS

Zdrojová data: Základní mapa ČR ZM 10, ArcGIS Online, radarové snímky: emailová komunikace, Markéta Báčová

## Radarový snímek 14:45

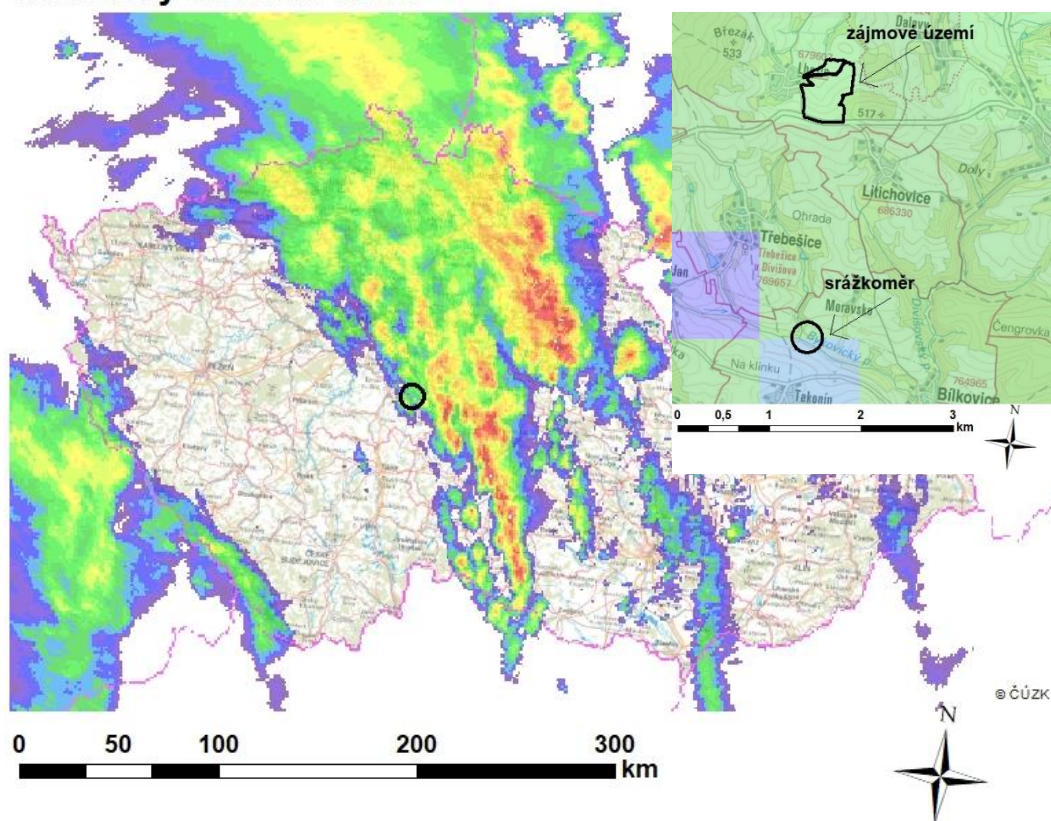


Obrázek 13: Radarový snímek zachycující srážku v čase 14:45

Vytvořeno v programu ArcGIS

Zdrojová data: Základní mapa ČR ZM 10, ArcGIS Online, radarové snímky, emailová komunikace, Markéta Báčová

## Radarový snímek 15:00



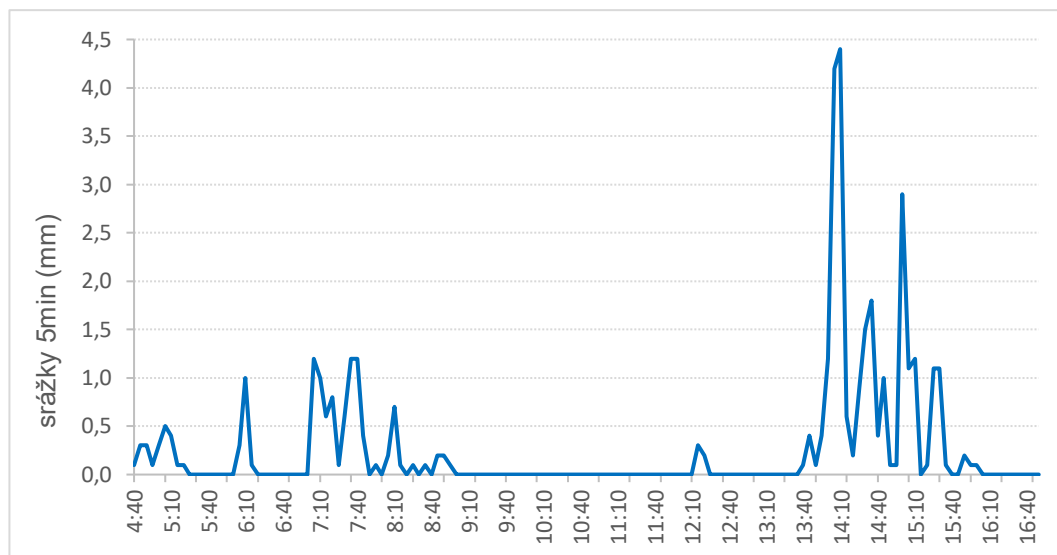
Obrázek 14: Radarový snímek zachycující srážku v čase 15:00

Vytvořeno v programu ArcGIS

Zdrojová data: Základní mapa ČR ZM 10, ArcGIS Online, radarové snímky, emailová komunikace Markéta Báčová

Vzhledem k tomu, že zájmové území se nenachází ve stejném místě jako srážkoměr, průběh srážky není zcela totožný. Bere-li se však v úvahu celkový rozsah srážky a fakt, že radarové snímky jsou dostupné v intervalech 15 min po celou dobu trvání události, uvažuje se stejný průběh srážky v obou dvou místech. Data jsou považována za odpovídající reálnému průběhu srážky v místě zájmového území.

Obrázek č. 15 charakterizuje průběh srážky po celou dobu měření. Zobrazuje histogram vytvořený z odečtů úhrnů srážky ze srážkoměru, které byly odečítány po 5 minutách. Úhrny srážky jsou zaznamenávány v milimetrech.



Obrázek 15: *Histogram charakterizující průběh srážkových úhrnů*  
Zdroj: emailová komunikace, Markéta Báčová

## Postup práce

Srážka popsaná v předchozí kapitole představuje významnou událost pro širší okolí v oblasti zájmového území. Na řešeném pozemku je pěstována řepka ozimá a v dobu, kdy proběhla srážka, se území nacházelo v téměř referenčním stavu. Tedy půda byla holá bez většího výskytu vegetace, a navíc dva až tři dny po zasetí plodiny. V tomto stavu a v tak krátkou dobu po zasetí řepky, je půda nejnáchylnější k vlivu erozních procesů, kdy jejich důsledek může být velmi závažný. Pozemky v okolí zájmového území se v danou dobu nacházely ve stejném stavu. Proto je vyhodnocení erozní činnosti způsobené zmiňovanou srážkou relevantní nejen pro území zájmové, ale i pro širší oblast v okolí. Navíc se pozemek nachází v blízkosti srážkoměru, který je lokalizován nedaleko obce Býkovice a data z něj jsou pro srážku dostupná a použitelná i pro řešené území.

Praktická část této diplomové práce se tedy zabývá vyhodnocením erozní činnosti způsobené na zájmovém území srážkou, která proběhla dne 11. 8. 2017. Jedná se o erozi rýhovou a dále je popsán postup, kterým bylo vyhodnocení provedeno.

Den po tom, co v dané lokalitě proběhla srážka, byly pořízeny snímky zájmového území, které tak zachycují erodovaný pozemek. Snímky byly provedeny tzv. UAV snímkováním, a to ve čtyřech různých výškách. Tyto byly zpracovány

v softwaru Agisoft PhotoScan, který vygeneroval model povrchu terénu a digitální model terénu zájmového území. Bližší postup zpracování snímků je popsán dále. Tyto modely jsou stěžejním podkladem pro vyhodnocení rýhové eroze. Samotná analýza rýhové eroze probíhala následujícím postupem: modely povrchu a terénu jsou vygenerovány ve čtyřech výškách – 5m, 15m, 25m a 100m. V celé práci budou používány tyto pracovní názvy:

- ortofoto 5 m: model povrchu terénu vygenerovaný ze snímků, které byly pořízeny z výšky 7,91 m;
- DEM 5 m: digitální model terénu vygenerovaný ze snímků, které byly pořízeny z výšky 7,91 m;
- ortofoto 15 m: model povrchu terénu vygenerovaný ze snímků, které byly pořízeny z výšky 16 m;
- DEM 15 m: digitální model terénu vygenerovaný ze snímků, které byly pořízeny z výšky 16 m;
- ortofoto 25 m: model povrchu terénu vygenerovaný ze snímků, které byly pořízeny z výšky 30,8 m;
- DEM 25 m: digitální model terénu vygenerovaný ze snímků, které byly pořízeny z výšky 30,8 m;
- ortofoto 100 m: model povrchu terénu vygenerovaný ze snímků, které byly pořízeny z výšky 113 m;
- DEM 100 m: digitální model terénu vygenerovaný ze snímků, které byly pořízeny z výšky 113 m.

Skutečné výšky náletů, kterými byly snímky pořízeny, jsou odlišné od pracovních názvů. Je tomu z důvodu usnadnění pojmenování modelů a tyto pracovní názvy představují zároveň nejnížší možné výšky, ze kterých nálety mohly být pořízeny. Reálný terén je tedy níže než např. 5 m, proto je skutečná výška náletu vyšší. Obdobně to platí pro nálety z 15 m, 25 m a 100 m.

Všechny modely byly nahrány do programu AcrGIS, ve kterém byla zpracována analýza erozní činnosti a rýhová eroze vyhodnocena. Na ortofoto 25 m byly vybrány reprezentativní čtverce, které definují různé typy erozního poškození. Na těchto čtvercích byly analyzovány jednotlivé erozní rýhy, jejich parametry a byl proveden výpočet, který vygeneroval objem jednotlivých rýh na čtverci. Tento

výpočet byl proveden použitím scriptu – Script Phyton, Calculate Rill Volume (autor scriptu Ing. Jan Devátý). Objem rýh představuje objem odneseného materiálu z povodí. Z těchto dílčích objemů byl vypočítán objem odneseného materiálu na jeden metr čtverečný plochy pro každý typ eroze, tedy pro každý reprezentativní čtverec.

Dále bylo celé zájmové území, tedy ortofoto 100 m, rozděleno na dílčí části – části A, B, C, D, E a údolnice. Každá část byla dále rozdělena na úseky o stejném typu rýhové eroze. Z plochy těchto částí a typu eroze byl dopočítán celkový objem odneseného materiálu. Typ eroze jednotlivých úseků dílčích částí je vždy přiřazen jednomu z reprezentativních čtverců. Část údolnice je analyzována samostatně. V této části došlo totiž k erozi nejvýraznější a jednotlivé rýhy jsou velmi špatně identifikovatelné a nelze tento typ poškození vztahovat na jakékoliv jiné plochy na pozemku. Nakonec byl tedy spočítán celkový objem odneseného materiálu ze zájmového území.

Vyhodnocení rýhové eroze by se dalo provést i jiným způsobem, například pozemním snímkováním celého území kvůli tomu, aby výsledky byly co nepřesnější. Nicméně takovéto snímkování nelze z kapacitních důvodů provést na celém území. Stálo by to velmi mnoho času a lidských zdrojů. Dále, snímky z náletu 100 m nemají dostatečné rozlišení na to, aby byly zpracovány obdobně jako ortofoto 25 m. Toto nedostatečné rozlišení se projeví i v případě, kdy by se měl aplikovat script na tento model terénu. Rozlišení ortofota 100 m pro script tak, jak je naprogramován, je příliš nízké a script s ním nedokáže pracovat. Postup pro vyhodnocení rýhové eroze, zvolený v této práci, se tedy jeví jako postup nejvhodnější a dostatečně reálně vypovídající o skutečném objemu odneseného materiálu z pozemku. V následujících kapitolách je analýza rýhové eroze pospána do větších detailů.

### Zpracování snímků

Snímky byly pořízeny z výšek 5 m, 15 m, 25 m a 100 m. Zpracování snímků bylo provedeno pomocí softwaru Agisoft PhotoScan. V softwaru se navolí po sobě jdoucí kroky, které postupně zpracují snímky a výstupem je report, kde jsou uvedeny dílčí časy výpočtů a další parametry, dále je výstupem v tomto případě ortofoto a DEM. Následující tabulky uvádí konkrétnější informace ohledně

zpracování snímků, které byly vygenerovány Agisoftem a jsou vybrány z reportu. Tabulka č. 7 uvádí počet snímků, který byl z každé výšky pořízen, výšku, ze které byly pořízeny, rozlišení a celkovou plochu, která byla snímána pro každý z náletů.

Tabulka 7: *Informace o zpracovávaných náletech*  
Zdroj: Agisoft PhotoScan Processing Report

	Počet snímků	Výška náletu	Rozlišení	Celková snímaná plocha
5 m	50	7.91 m	1.98 mm/pix	449 m <sup>2</sup>
15 m	32	16 m	3.95 mm/pix	595 m <sup>2</sup>
25 m	463	30.8 m	7.65 mm/pix	0.031 km <sup>2</sup>
100 m	469	113 m	2.81 cm/pix	0.399 km <sup>2</sup>

Snímacím zařízením, kterým byly provedeny všechny nálety, byl kvadrokoptér Phantom 4Pro. Obrázek č. 16 ilustruje, jak tento přístroj vypadá.



Obrázek 16: *Phantom 4Pro*  
Zdroj: [27]

V tabulce č. 8 je uveden typ snímacího zařízení, rozlišení a ohnisková vzdálenost.

Tabulka 8: *Popis snímacího zařízení*  
Zdroj: Agisoft PhotoScan Processing Report

Typ snímacího zařízení	Rozlišení	Ohnisková vzdálenost	Velikost pixelu
FC6310 (8.8 mm)	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 μm

V tabulce č. 9 jsou uvedeny bližší informace zachycující postup výpočtů v Agisoftu při generaci ortofota a DEM. Dále jsou tyto výsledky okomentovány.

Tabulka 9: *Parametry zpracování*  
Zdroj: Agisoft PhotoScan Processing Report

Parametry zpracování		5 m	15 m	25 m	100 m
<b>Obecné</b>	Počet snímků	50	32	463	469
	Souřadnicový systém	Lokální souřadnice (m)	Lokální souřadnice (m)	Lokální souřadnice (m)	WGS 84
<b>Generace řídkého bodového mračna (Alignment parameters)</b>	Přesnost (accuracy)	Vysoká (high)	Vysoká (high)	Vysoká (high)	Vysoká (high)
	Čas spojování snímků (Matching time)	36 s	25 s	50 min 19 s	48 min 49 s
	Čas řazení snímků (Alignment time)	20 s	12 s	12 min 9 s	12 min 24 s
<b>Tvorba hustého bodového mračna (Dense Point Cloud)</b>	Body	133,122,531	46,580,339	628,400,336	559,440,490
	Kvalita	Velmi vysoká (Ultra High)	Velmi vysoká (Ultra High)	Velmi vysoká (Ultra High)	Velmi vysoká (Ultra High)
	Čas generace prostorové mapy (Depth maps generation time)	18 min 11 s	11 min 45 s	6 h 16 min	20 h 57 min
	Čas generace bodového mračna (Dense cloud generation time)	48 min 39 s	14 min 7 s	1 d 5 h	1 d 11 h
<b>DEM</b>	Zdrojová data	Dense cloud	Dense cloud	Dense cloud	Dense cloud
	Čas zpracování	1 min 15 s	25 s	4 min 26 s	9 min 54 s
<b>Ortofoto</b>	Povrch	DEM	DEM	DEM	DEM
	Čas zpracování	2 min 46 s	1 min 1 s	14 min 28 s	15 min 14 s

Z tabulky č. 9 je patrné, že velký rozdíl mezi zpracováním snímků pořízených z výšky 5 m a 15 m je v čase generace bodového mračna. Pro nálet z 5 m je tento čas téměř hodinu, kdežto pro nálet z 15 m necelých 15 min. Důvodem je větší počet zpracovávaných snímků pro nálet 5 m a také mnohem vyšší počet zpracovávaných bodů. U náletu 25 m a 100 m je velký rozdíl v čase pro generaci prostorové mapy (depth maps generation time). Důvodem je rozsah snímaného území, kdy se jedná o území o rozloze 0,031 km<sup>2</sup> při snímání z 25 m a o území o rozloze desetkrát větší, 0,399 km<sup>2</sup> při snímání z výšky 100 m. Další rozdíl ohledně časové náročnosti výpočtů je patrný při zpracování DEM. Zde je čas pro zpracování

modelu terénu pro nálet 5 m o téměř minutu delší než u náletu 15 m, pro nálet 100 m je tento dvojnásobný oproti času při snímání z 25 m. Důvodem jsou opět rozdílné počty snímků, rozlišení a také počet zpracovávaných bodů z bodového mračna.

Hlavní kroky, které se v Agisoftu používají pro zpracování snímků:

1. Spojení snímků, orientace a vytvoření řídkého bodového mračna (Camera Alignment) – v tomto kroku dochází k hledání společných bodů na snímcích a k jejich spojování na základě těchto bodů. Výsledkem je řídké bodové mračno a informace k jednotlivým pozicím snímacího zařízení. Nastavení přesnosti bylo pro všechny čtyři výpočty voleno jako vysoké.
2. Vytvoření hustého bodového mračna (Build Dense Point Cloud)  
V tomto kroku se vytvoří husté bodové mračno. Nastavení kvality pro vytvoření hustého bodového mračna bylo ve všech čtyřech výpočtech voleno jako velmi vysoké.
3. Export ortofota a DEM  
Na základě předchozích kroků dojde k exportu ortofota a DEM. Tyto soubory jsou dále využity při samotném modelování v programu ArcGIS.
4. Export reportu  
Ke každému výpočtu byla vygenerována zpráva, která obsahuje přehledně popsané jednotlivé kroky výpočtu, a to náhled ortofota a DEM, ilustrační obrázek s polohou snímacího zařízení a popis rozlišení, kalibraci snímacího zařízení (popis zařízení, kalibrační koeficienty a korelační matici), polohu kontrolních bodů a záznam vzniklých chyb, parametry průběhu výpočtů – jednotlivé kroky, volená úroveň kvality výpočtů, doba trvání.

### Analýza rýhové eroze

Samotnou analýzou rýhové eroze a výpočtu objemu odneseného materiálu z území se zabývá následující část práce. Tato analýza byla provedena v programu ArcGIS. Do projektu byly nahrány výstupy ze softwaru Agisoft – ortofoto a DEM pro snímky pořízené ze všech čtyřech výšek. Ortofoto 100 m definuje zároveň oblast řešeného území. Pro definici této oblasti povodí, se kterou je dále pracováno, bylo využito veřejného registru půdy LPIS. Na webových stránkách veřejného registru půdy bylo ve veřejném exportu dat vybráno řešené katastrální území Lbosín



679607, které bylo naimportováno do projektu a byl oříznut polygon ohraničující zájmové území.



*Obrázek 17: Polygon určující zájmové území  
Vytvořeno v programu ArcGIS  
Podklad: ortofoto 100 m, zdroj: Agisoft PhotoScan*

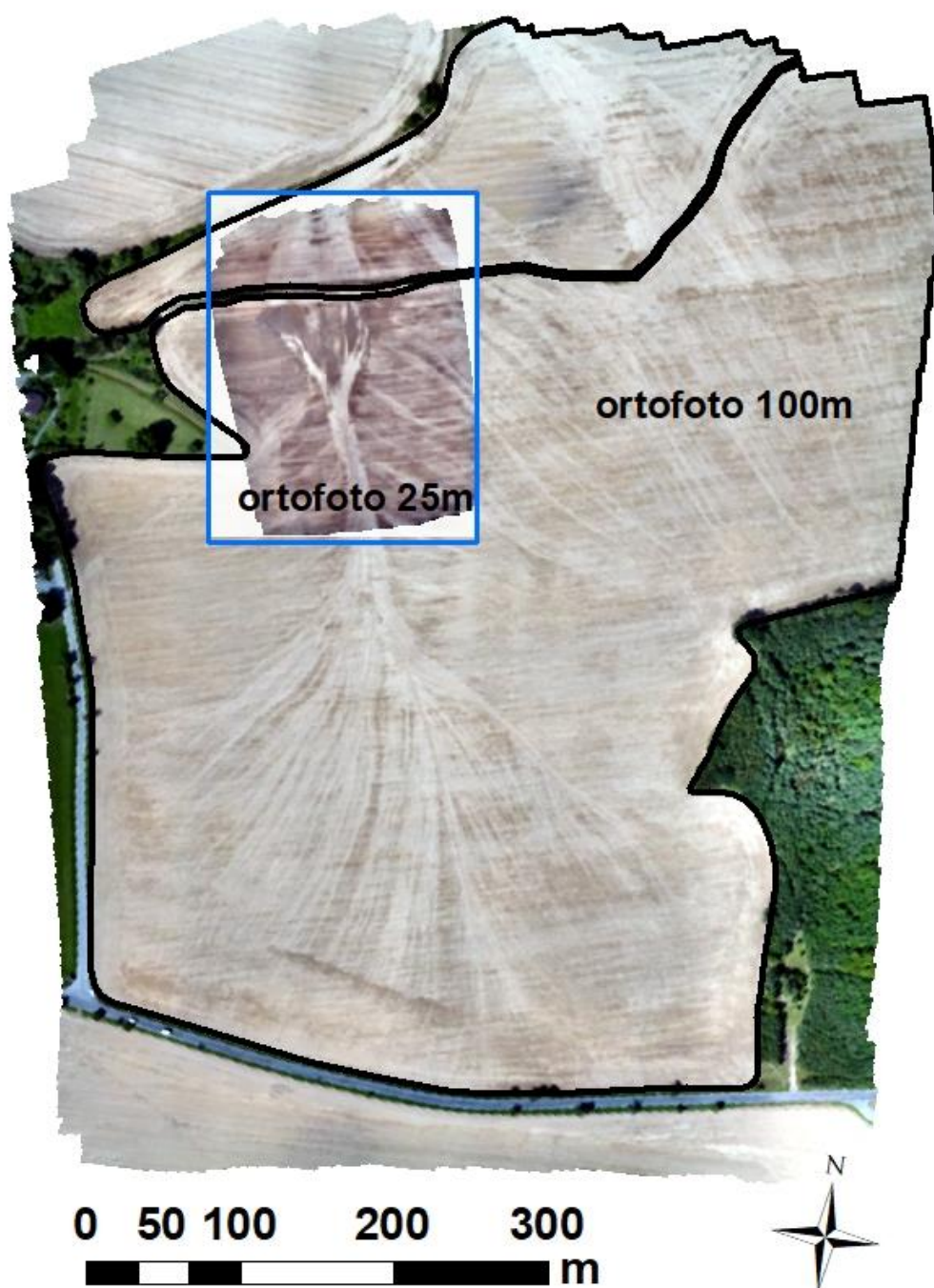
V rámci analýzy rýhové eroze bylo nejdříve pracováno s ortofotem 25 m a 100 m a s DEM 25 m a DEM 100 m. Zpracování ortofota 5 m a 15 m a DEM 5 m a 15 m je dále popsáno na str. 68–74.

#### *Zpracování ortofoto 25 m a 100 m*

Z ortofoto 25 m a 100 m je patrná erozní činnost, která byla dále na území analyzována. Na první pohled je jasné, že ortofoto 25 m zachycuje erozní činnost podrobněji oproti ortofoto 100 m. Eroze vzniklá na území je plošná a výmolná. Tato

práce se soustředí na erozi výmolnou. Dochází k erozi rýžkové, brázdové a výmolové. Vznik a charakteristika těchto typů eroze jsou popsány v teoretické části práce (viz kapitola *Vodní eroze*, str. 22). Obrázek č.18 představuje ortofoto 100 m a vyznačuje tak celkovou oblast zájmového území. Zároveň je v tomto obrázku vyznačeno ortofoto 25 m. Obrázek tedy ilustruje charakter zájmového území a rozdíl přesnosti ortofota 25 m a 100 m ve vizualizaci erozní činnosti. (pozn. Autora: *Postup analýzy rýhové eroze se řídí postupem popsaným v ještě nepublikovaném článku, viz seznam literatury [26]*)

## Zájmové území - ortofoto



*Obrázek 18: Zájmové území  
Vytvořeno v programu ArcGIS  
Podklad: ortofoto 25 m a 100 m, zdroj: Agisoft PhotoScan*

Je provedena analýza jednotlivých erozních rýh na území. Postupováno je následujícím způsobem:

1. Ortofoto 100 m: rozdělení oblasti na šest částí

Jako jedna samostatná část byla zpracovávána část hlavní proudnice, tedy údolnice povodí. Bylo to z toho důvodu, že do této proudnice byla soustředěna veškerá tekoucí voda z povodí, která postupně nabírala na síle a vzniklá eroze je velmi výrazná. Tato eroze je zcela odlišná od té, která vznikla na zbytku povodí a je také velmi těžké rozeznat erozní rýhy pouze na základě srovnání dostupných ortofoto podkladů. Část A až D jsou oblasti nacházející se na zbytku oblasti a části jsou vybrány dle podobnosti typu eroze. Část E se nachází na menším polygonu zájmového území. Od zbytku území je oddělena erozní mezí. Z hlediska výskytu erozního poškození je tato část velmi různorodá.

Obrázek č. 19 vystihuje rozdělení zájmového území na dílčí části.

## Zájmové území - rozdělení



*Obrázek 19: Rozdělní zájmového území  
Vytvořeno v programu ArcGIS  
Podklad: ortofoto 100 m, zdroj: Agisoft PhotoScan*

## 2. Ortofoto 25 m: reprezentativní čtverce

Tato oblast je stěžejní pro celou práci. Z této oblasti byla také oddělena část hlavní proudnice, údolnice. Na úseku hlavní proudnice je destrukce terénu nejsilnější a není snadné vyčíst jednotlivé erozní rýhy. Na zbylé části oblasti bylo vybráno 27 reprezentativních oblastí – čtverců o rozloze 10x10m.

### Reprezentativní čtverce



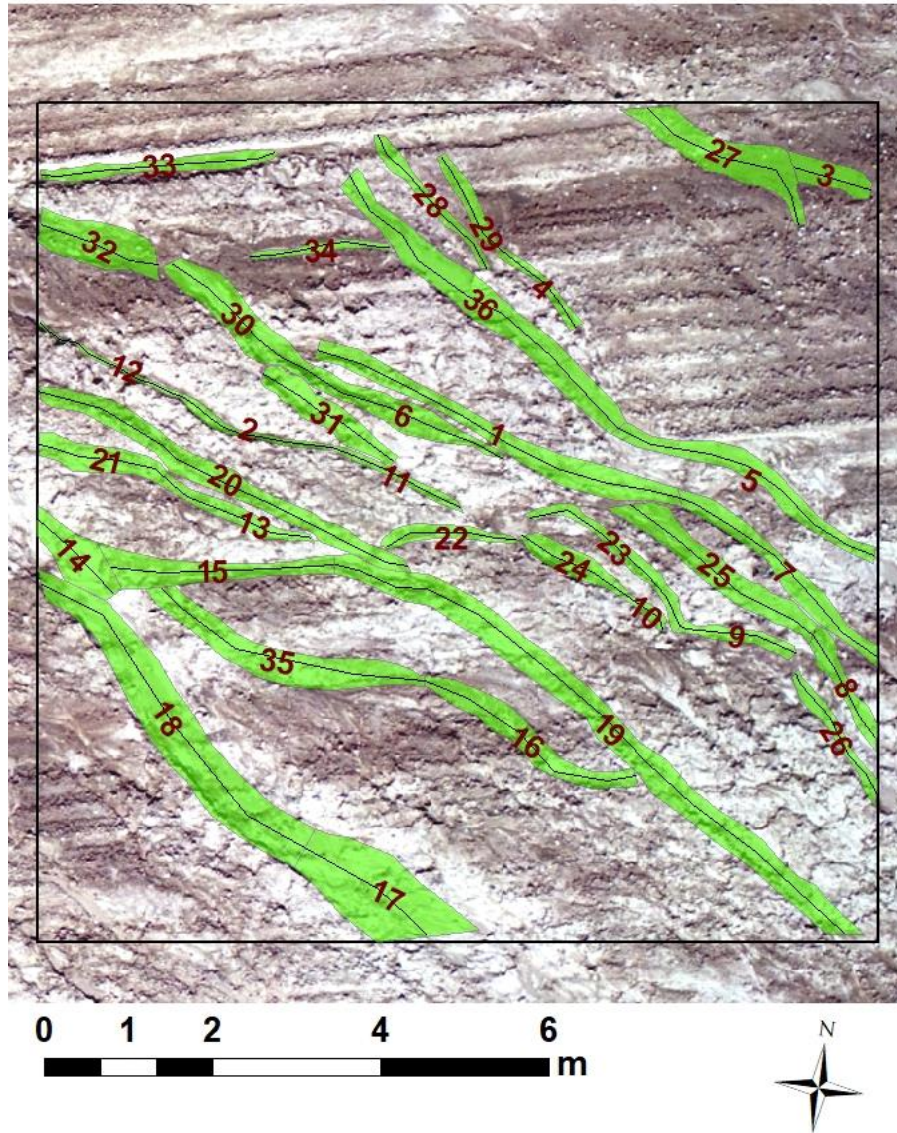
Obrázek 20: Reprezentativní čtverce  
Vytvořeno v programu ArcGIS  
Podklad: ortofoto 25 m, zdroj: Agisoft PhotoScan

Na těchto čtvercích jsou analyzovány jednotlivé rýhy. Tato analýza probíhala následovně:

- Ohraničení polygonu, který zachycuje rýhu

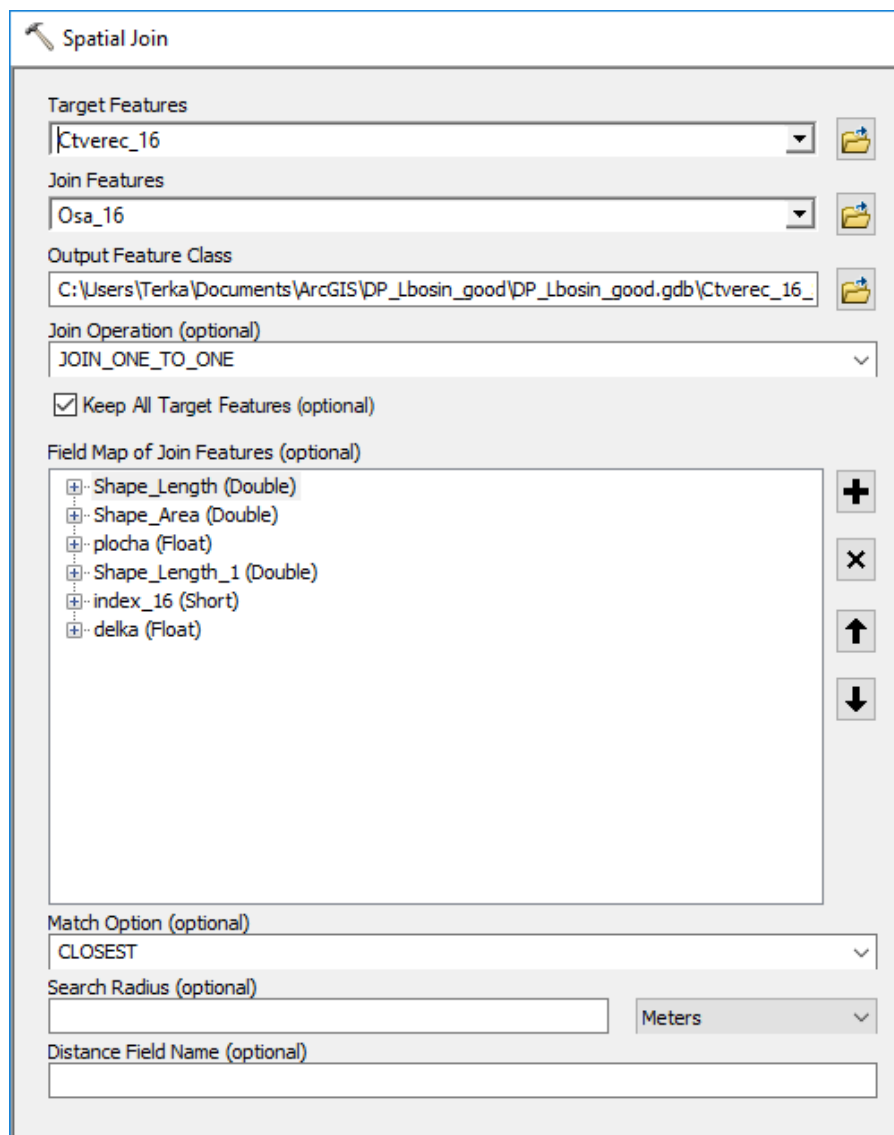
- Rozdělení polygonu na část o zhruba stejné šířce rýhy
- Zanesení osy pro každý polygon

### Čtverec 15 - erozní rýhy



Obrázek 21: Analýza erozních rýh, čtverec 15  
 Vytvořeno v programu ArcGIS  
 Podklad: ortofoto 25 m, zdroj: Agisoft PhotoScan

- Spojení polygonu a osy pomocí nástroje Spatial Join: Jako cílový prvek je zvolen daný čtverec. Jako prvek, který je přiřazován je zvolena příslušná osa. Jako oblasti, které jsou přiřazovány, jsou vybrány vždy plocha, index\_osa a délka. Způsob přiřazení je volen CLOSEST, kdy je přiřazena osa nacházející se nejbližší danému polygonu.

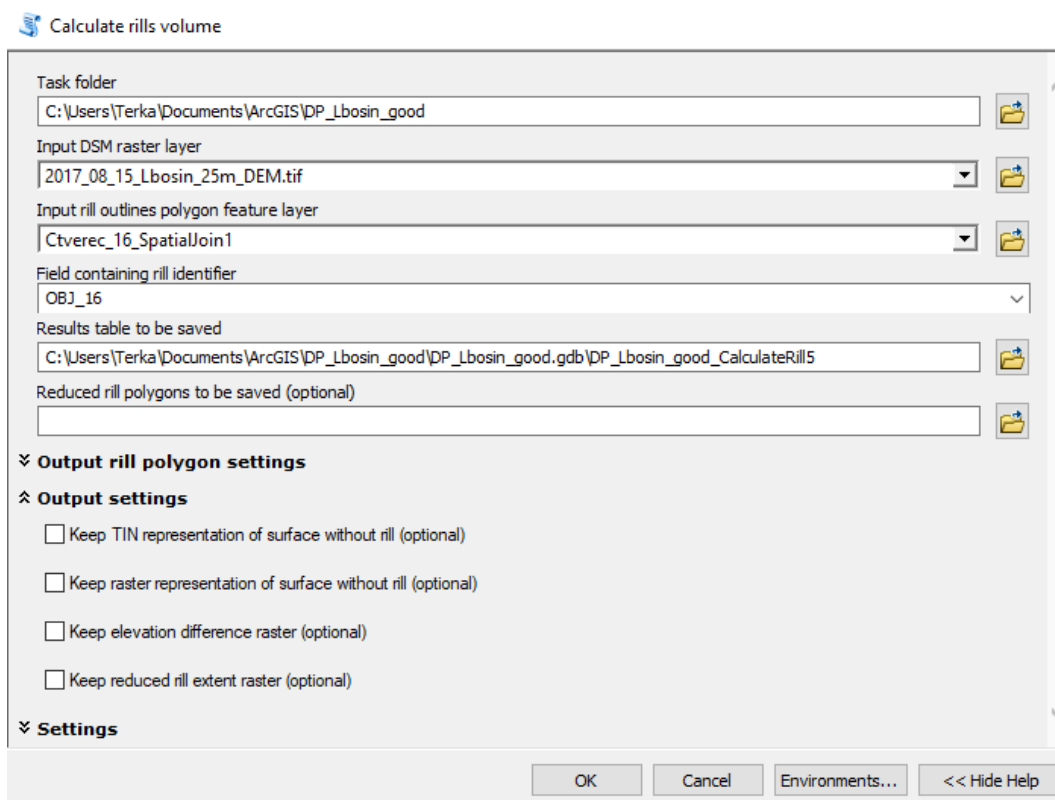


Obrázek 22: Použití nástroje SpatialJoin  
Zdroj: ArcGIS

- Použití scriptu: Jako vstup rastrové vrstvy, ze které je počítána výška bodů, je použit digitální model terénu vytvořený ze snímků z 25 m. Jako oblast, která definuje polygony ohraničující rýhy, je volena vždy vrstva reprezentativního čtverce, kde jsou již spojeny polygony s osami (SpatialJoin). Parametr, na základě kterého script přiřazuje



objemy a hloubky příslušným rýhám, je OBJ\_čísločverce. Může se zvolit zachování nepravidelné trojúhelníkové sítě sítě (triangulated irregular network), tzv. TIN, digitální model terénu a model povrchu, což script dokáže vygenerovat pro každý jednotlivý polygon ve čtverci.

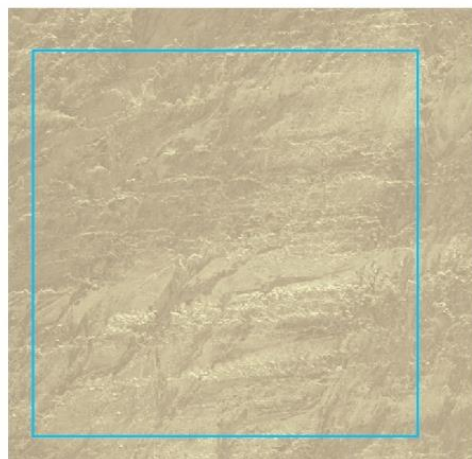


Obrázek 23: Použití scriptu  
Zdroj: ArcGIS

Takto je pro každý čtverec získána charakteristika polygonů vyskytujících se na jeho ploše. Pro každý polygon lze z atributové tabulky vyčíst jeho plochu a na základě přiřazení osy přes SpatialJoin příslušící délku osy, která prochází daným polygonem. Z těchto dvou údajů je spočítána šířka rýhy. Script spočítá objemy rýh pro každý polygon na daném čtverci a maximální a průměrnou hloubku jednotlivé rýhy.

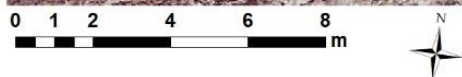
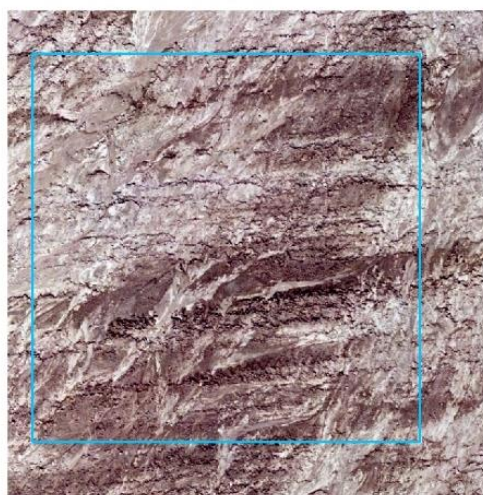
Pro analýzu erozních rýh bylo jako podklad použito ortofoto 25 m. Je dostatečně podrobné a má dostačující rozlišení pro to, aby byly jednotlivé rýhy rozeznatelné. Avšak pro ještě lepší orientaci v erozním poškození terénu byly použity různé typy vizualizace ortofota 25 m. Tzn., že pro ortofoto byl zvolen jiný typ barevné škály pro zobrazení byla změněna symbologie v záložce symbology v nastavení vrstvy. Takto upravený podklad pak mohl vypadat tak, jak je uvedeno na obrázcích č. 24, 25 a 26.

Čtverec 26 - ortofoto 25 m



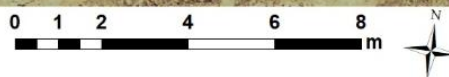
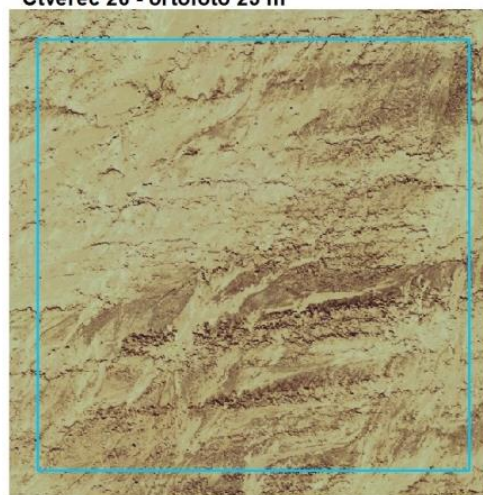
Obrázek 24: Analýza erozních rýh  
Vytvořeno v programu ArcGIS  
Podklad: ortofoto 25 m, zdroj: Agisoft PhotoScan

Čtverec 26 - ortofoto 25 m



Obrázek 25 Analýza erozních rýh  
Vytvořeno v programu ArcGIS  
Podklad: ortofoto 25 m, zdroj: Agisoft PhotoScan

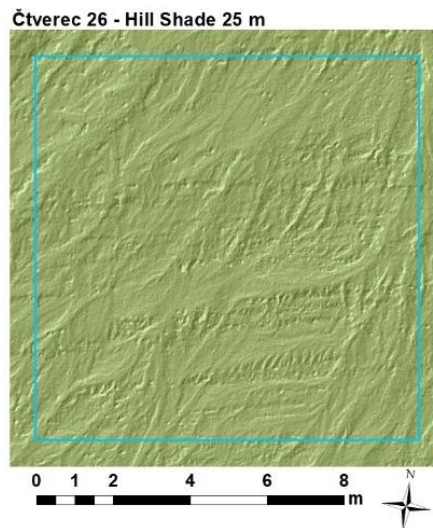
Čtverec 26 - ortofoto 25 m



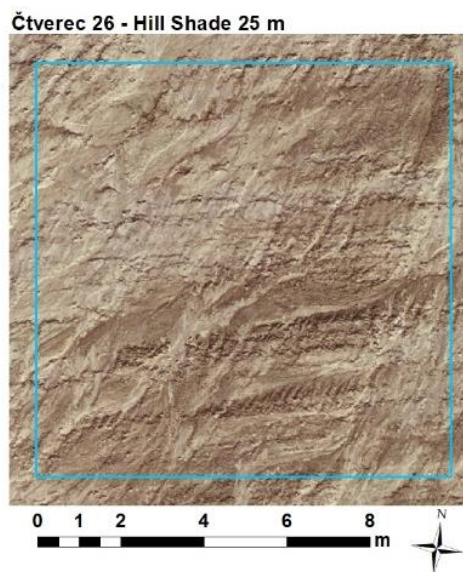
Obrázek 26 Analýza erozních rýh  
Vytvořeno v programu ArcGIS  
Podklad: ortofoto 25 m, zdroj: Agisoft PhotoScan

Dalším usnadněním pro analýzu erozní činnosti mohl posloužit digitální model terénu. Pomocí nástroje Hillshade byl DEM upraven. Tento nástroj vytváří

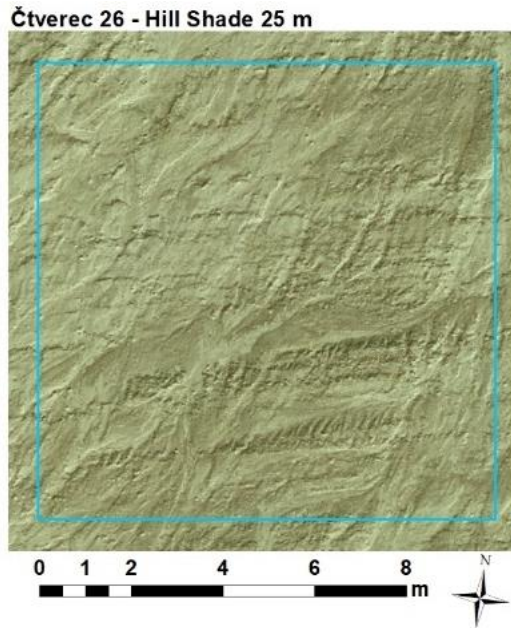
stínovaný reliéf na základě rastrového povrchu a upraví ho dle úhlů osvětlení a stínů. Může se nastavit opět různá barevná škála, průhlednost apod. Pokud se dají nad sebe ortofoto a upravený DEM pomocí Hillshade, může takovýto podklad pak vypadat například tak, jak je znázorněno na obrázcích č. 27, 28 a 29.



Obrázek 27: Analýza erozních rýh  
Vytvořeno v programu ArcGIS  
Podklad: DEM 25 m, zdroj: Agisoft PhotoScan






Obrázek 28 Analýza erozních rýh  
Vytvořeno v programu ArcGIS  
Podklad: DEM 25 m, zdroj: Agisoft PhotoScan

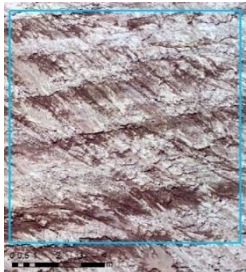

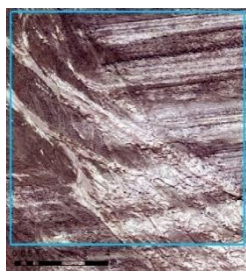


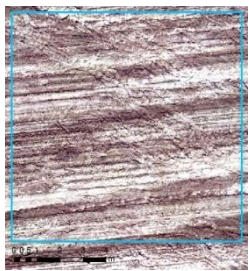
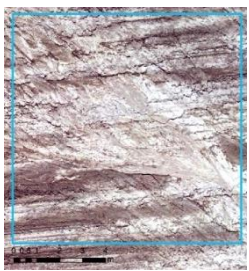

Obrázek 29 Analýza erozních rýh  
 Vytvořeno v programu ArcGIS  
 Podklad: DEM 25 m, zdroj: Agisoft PhotoScan

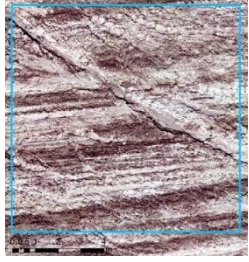
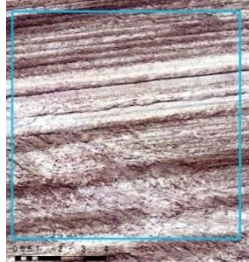
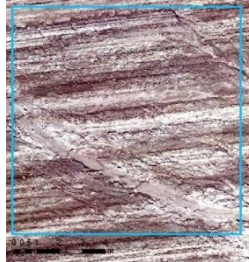
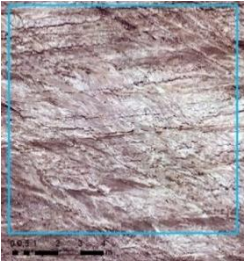
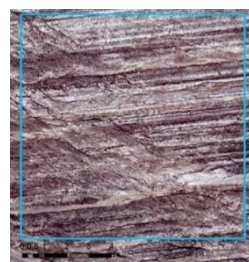
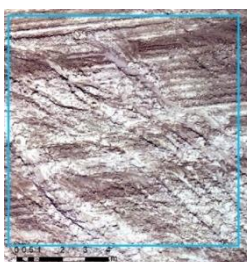
V následující tabulce č. 10 je výčet reprezentativních čtverců s podrobnějším popisem eroze vyskytující se na právě daném čtverci. Podrobnější popis zahrnuje: umístění čtverce v rámci ortofota 25 m, slovní charakteristiku eroze, popis rýh – minimální, maximální a průměrná šířka, minimální a maximální hloubka, objem odneseného materiálu z plochy 100 m<sup>2</sup> a mocnost erodovaného povrchu v mm.

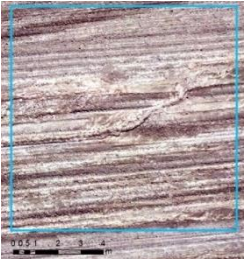
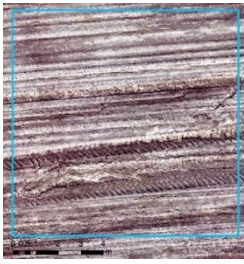
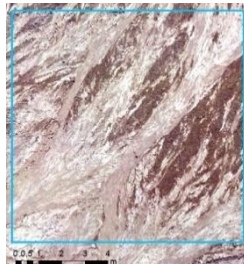
Tabulka 10: popis reprezentativních čtverců  
 Zdroj: Agisoft PhotoScan ortofoto 25 m, Script Calculate Volume Rill, Jan Devátý

Čtverec	1	2	3
			
Umístění	Pravá dolní část	Pravá dolní část	Pravá dolní část
Charakteristika poškození	Jedna hlavní rýha, do které se soustřeďují ostatní rýhy tvořící hustou síť a která směřuje pod ostrým úhlem	Jedna hlavní rýha, do které se soustřeďují ostatní rýhy tvořící hustou síť a která směřuje pod ostrým úhlem	Zřetelné rýhy soustředěné stejně, na pohled viditelná různorodost šířek rýh. Vyskytující se



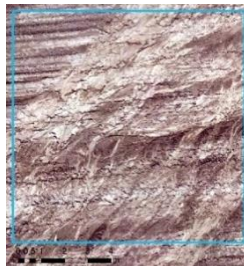
	k ostatním, je jí vše unášeno pryč ze čtverce. Vyskytující se eroze je převážně rýhová.	k ostatním, je jí vše unášeno pryč ze čtverce, tato hlavní rýha je užší než u čtverce 1. Vyskytující se eroze je převážně rýhová.	eroze je převážně rýhová.
Počet rýh	29	17	23
Min šířka	9 cm	28,6 cm	20,3 cm
Max šířka	67 cm	76,3 cm	88,1 cm
Průměrná šířka	26 cm	48,5 cm	48,5 cm
Min hloubka	0,6 cm	1,7 cm	1,0 cm
Max hloubka	4,1 cm	5,7 cm	3,2 cm
Průměrná hloubka	1,9 cm	0,8 cm	0,6 cm
Objem erozních rýh 100 m <sup>2</sup>	0,105 m <sup>3</sup>	0,194 m <sup>3</sup>	0,176 m <sup>3</sup>
Průměrná mocnost erodovaného materiálu	1,05 mm	1,94 mm	1,76 mm
<b>Čtverec</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
			
Umístění	Pravá dolní část	Pravá dolní část	Pravá střední část
Charakteristika poškození	Celkem soustředěné rýhy, rovnoměrně po celém čtverci, eroze rýžková, brázdová a rýhová, rýhy ve směru k hlavní proudnici.	Rýhová eroze, rýhy ve směru k hlavní proudnici, ve dvou rozích čtverce bez větších stop eroze.	Rýhová eroze, rýhy ve směru k hlavní proudnici, 2 až 3 hlavní rýhy, část čtverce bez větších stop eroze, ostatní rýhy jsou užší a napojují se na hlavní rýhy
Počet rýh	30	55	33
Min šířka	11,5 cm	3,6 cm	4,1 cm
Max šířka	129 cm	132,7 cm	78 cm
Průměrná šířka	43,4 cm	26,3 cm	29,3 cm


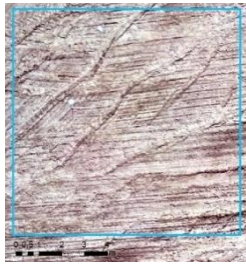

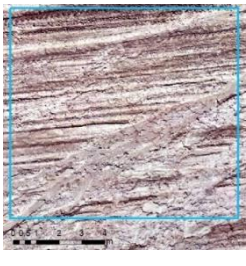
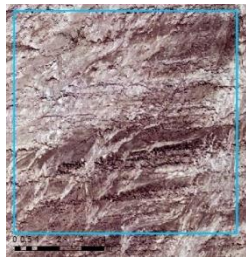
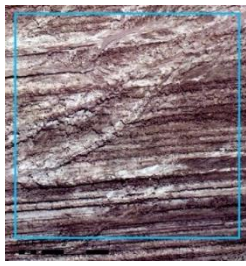
Min hloubka	1,2 cm	0,5 cm	0,36 cm
Max hloubka	4,1 cm	3,4 cm	3,4 cm
Průměrná hloubka	0,7 cm	0,4 cm	0,4 cm
Objem erozních rýh 100 m <sup>2</sup>	0,229 m <sup>3</sup>	0,068 m <sup>3</sup>	0,069 m <sup>3</sup>
Průměrná mocnost erodovaného materiálu	2,29 mm	0,68 mm	0,69 mm
<b>Čtverec</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
			
Umístění	Pravá střední část	Pravá střední část	Pravá horní část
Charakteristika poškození	Rýžková, brázdová a rýhová eroze, rýhy ve směru k hlavní proudnici, na první pohled se zdá jen jako jemné poškození, větší část čtverce je bez eroze.	Znatelná rýžková, brázdová a rýhová, dva hlavní zářezy, rýhy ve směru k hlavní proudnici.	Eroze rýžková a brázdová, rýhová, část čtverce bez eroze.
Počet rýh	19	29	13
Min šířka	6,6 cm	7,4 cm	12,2 cm
Max šířka	86 cm	110,1 cm	51 cm
Průměrná šířka	30,7 cm	34,5 cm	32,1 cm
Min hloubka	1,2 cm	0,7 cm	2,4 cm
Max hloubka	5,3 cm	4,2 cm	6,3 cm
Průměrná hloubka	0,9 cm	0,6 cm	0,9 cm
Objem erozních rýh 100 m <sup>2</sup>	0,118 m <sup>3</sup>	0,136 m <sup>3</sup>	0,082 m <sup>3</sup>
Průměrná mocnost erodovaného materiálu	1,18 mm	1,36 mm	0,82 mm

Čtverec	10	11	12
			
Umístění	Pravá střední část	Pravá střední část	Pravá horní část
Charakteristika poškození	Jedna hlavní rýha na čtverci, rýžková a brázdová eroze, větší část čtverce bez větších stop eroze.	Rýžková, rýhová eroze, malý počet zřetelných rýh, zhruba polovina čtverce bez zřetelné eroze.	Jedna velmi zřetelná rýha, rýžková, rýhová eroze, malý počet zřetelných rýh, zhruba polovina čtverce bez zřetelné eroze.
Počet rýh	21	15	21
Min šířka	18,8 cm	13,5 cm	13,0 cm
Max šířka	78,7 cm	57,2 cm	742,5 cm
Průměrná šířka	36,8 cm	24,9 cm	74,5 cm
Min hloubka	1,2 cm	2,9 cm	0,8 cm
Max hloubka	9,0 cm	4,8 cm	7,3 cm
Průměrná hloubka	1,0 cm	1,0 cm	1,0 cm
Objem erozních rýh 100 m <sup>2</sup>	0,213 m <sup>3</sup>	0,082 m <sup>3</sup>	0,347 m <sup>3</sup>
Průměrná mocnost erodovaného materiálu	2,13 mm	0,82 mm	3,47 mm
Čtverec	13	14	15
			
Umístění	Pravá horní část	Pravá horní část	Pravá horní část
Charakteristika poškození	Rýžková, brázdová a rýhová eroze, různorodé rýhy	Rýžková, brázdová a rýhová eroze, menší množství	Rýžková, brázdová a rýhová eroze, 5 až 7 výrazných rýh

	přes celý čtverec, eroze rovnoměrně po celém čtverci.	zřetelných rýh, částečně bez eroze.	přes celý čtverec, několik přerušovaných rýh.
Počet rýh	44	16	36
Min šířka	6,2 cm	16 cm	5,4 cm
Max šířka	84,4 cm	504,4 cm	94 cm
Průměrná šířka	24,4 cm	79,7 cm	27,4 cm
Min hloubka	0,3 cm	1,7 cm	1,2 cm
Max hloubka	3,1 cm	4,4 cm	9,9 cm
Průměrná hloubka	0,4 cm	0,7 cm	1,2 cm
Objem erozních rýh 100 m <sup>2</sup>	0,106 m <sup>3</sup>	0,147 m <sup>3</sup>	0,275 m <sup>3</sup>
Průměrná mocnost erodovaného materiálu	1,06 mm	1,47 mm	2,75 mm
<b>Čtverec</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>
			
Umístění	Levá dolní část	Levá dolní část	Levá dolní část
Charakteristika poškození	Jedna zřetelná rýha přes celý čtverec, další drobné rýhy hůře identifikovatelné, velká část čtverce bez eroze.	Dvě až tři zřetelné rýhy přes celý čtverec v blízkosti vyjetých kolejí od pneumatik, další drobné rýhy hůře identifikovatelné, velká část čtverce bez eroze.	Tři až čtyři hlavní proudnice, které se spojují či větví po celém čtverci, část je špatně definovatelná, rýhová eroze.
Počet rýh	19	13	76
Min šířka	9,1 cm	24,4 cm	4,2 cm
Max šířka	110,4 cm	109,6 cm	196 cm
Průměrná šířka	41 cm	49,5 cm	34,4 cm
Min hloubka	1,4 cm	1,5 cm	0,3 cm
Max hloubka	7,4 cm	6,2 cm	3,4 cm
Průměrná hloubka	0,7 cm	1,0 cm	0,3 cm



Objem erozních rýh 100 m <sup>2</sup>	0,227 m <sup>3</sup>	0,161 m <sup>3</sup>	0,132 m <sup>3</sup>
Průměrná mocnost erodovaného materiálu	2,27 mm	1,61 mm	1,32 mm
<b>Čtverec</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>
			
Umístění	Levá dolní část	Levá střední část	Levá střední část
Charakteristika poškození	Rýžková, brázdová a rýhová eroze, dvě hlavní ale přerušované rýhy, část čtverce bez eroze.	Rážková, brázdová a rýhová eroze, celkem rovnoměrně po celém čtverci, spojitě rýhy přes celý čtverec.	Jedna široká rýha, těžko identifikovatelná další eroze na této rýze, dále několik přerušovaných rýh.
Počet rýh	47	35	29
Min šířka	2,9 cm	11,0 cm	6,9 cm
Max šířka	168,9 cm	114,7 cm	230 cm
Průměrná šířka	37,6 cm	39,6 cm	46,2 cm
Min hloubka	0,7 cm	0,8 cm	0,4 cm
Max hloubka	9,3 cm	9,9 cm	6,3 cm
Průměrná hloubka	0,8 cm	1,3 cm	0,7 cm
Objem erozních rýh 100 m <sup>2</sup>	0,482 m <sup>3</sup>	0,556 m <sup>3</sup>	1,048 m <sup>3</sup>
Průměrná mocnost erodovaného materiálu	4,82 mm	5,56 mm	10,48 mm
<b>Čtverec</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>

			
Umístění	Levá horní část	Levá horní část	Levá horní část
Charakteristika poškození	Jedna širší rýha, další eroze hůře identifikovatelná, několik přerušovaných rýh, značná část čtverce bez eroze.	4 až 5 zřetelných rýh, celkově drobnější rýhy, méně rozprostřené po celém čtverci, eroze rýžková, brázdová a rýhová.	4 zřetelné rýhy podél vyjetých stop od pneumatik, z nich vedoucí další rýhy, eroze rýžková, brázdová a rýhová.
Počet rýh	25	44	32
Min šířka	22,1 cm	6,2 cm	15,4 cm
Max šířka	299,1 cm	74,6 cm	108,5 cm
Průměrná šířka	62,4 cm	25,3 cm	36,3 cm
Min hloubka	1,3 cm	0,9 cm	1,0 cm
Max hloubka	9,0 cm	6,9 cm	7,4 cm
Průměrná hloubka	1,1 cm	0,7 cm	0,7 cm
Objem erozních rýh 100 m <sup>2</sup>	0,418 m <sup>3</sup>	0,200 m <sup>3</sup>	0,320 m <sup>3</sup>
Průměrná mocnost erodovaného materiálu	4,18 mm	2,0 mm	3,2 mm
<b>Čtverec</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>
			
Umístění	Levá horní část	Levá horní část	Levá horní část
Charakteristika poškození	Jedna hlavní rýha složená z dílčích, dvě rýhy podél vyjetých kolejí, rýžková, brázdová a rýhová eroze,	Hůře identifikovatelné rýhy obecně, dvě zřetelnější, rýhy na sebe postupně napojené.	Tři rýhy podél vyjetých kolejí, dvě hlavní rýhy napříč celým čtvercem, dále více drobných rýh, větší

	velká část čtverce bez eroze.		část bez značné eroze.
Počet rýh	27	35	32
Min šířka	10,0 cm	11,7 cm	4,6 cm
Max šířka	156,0 cm	181,3 cm	126,6 cm
Průměrná šířka	46,3 cm	47,1 cm	47,9 cm
Min hloubka	1,1 cm	0,6 cm	0,8 cm
Max hloubka	9,6 cm	7,6 cm	9,0 cm
Průměrná hloubka	1,2 cm	0,7 cm	0,9 cm
Objem erozních rýh 100 m <sup>2</sup>	0,538 m <sup>3</sup>	0,307 m <sup>3</sup>	0,341 m <sup>3</sup>
Průměrná mocnost erodovaného materiálu	5,38 mm	3,07 mm	3,41 mm

### *Analýza erozní činnosti na celém zájmovém území*

Po tom, co byla provedena analýza erozní činnosti na reprezentativních čtvercích, byla tato zohledněna na celé zájmové území, tedy na ortofoto 100 m. Toto rozdělení popisuje obrázek č. 30 a tabulka č. 11.

#### **Zájmové území - rozdělení**



*Obrázek 30 Rozdělení zájmového území  
Vypracováno v programu ArcGIS  
Zdroj: ortofoto 100 m, Agisoft PhotoScan*

*Tabulka 11: plocha částí A - E*

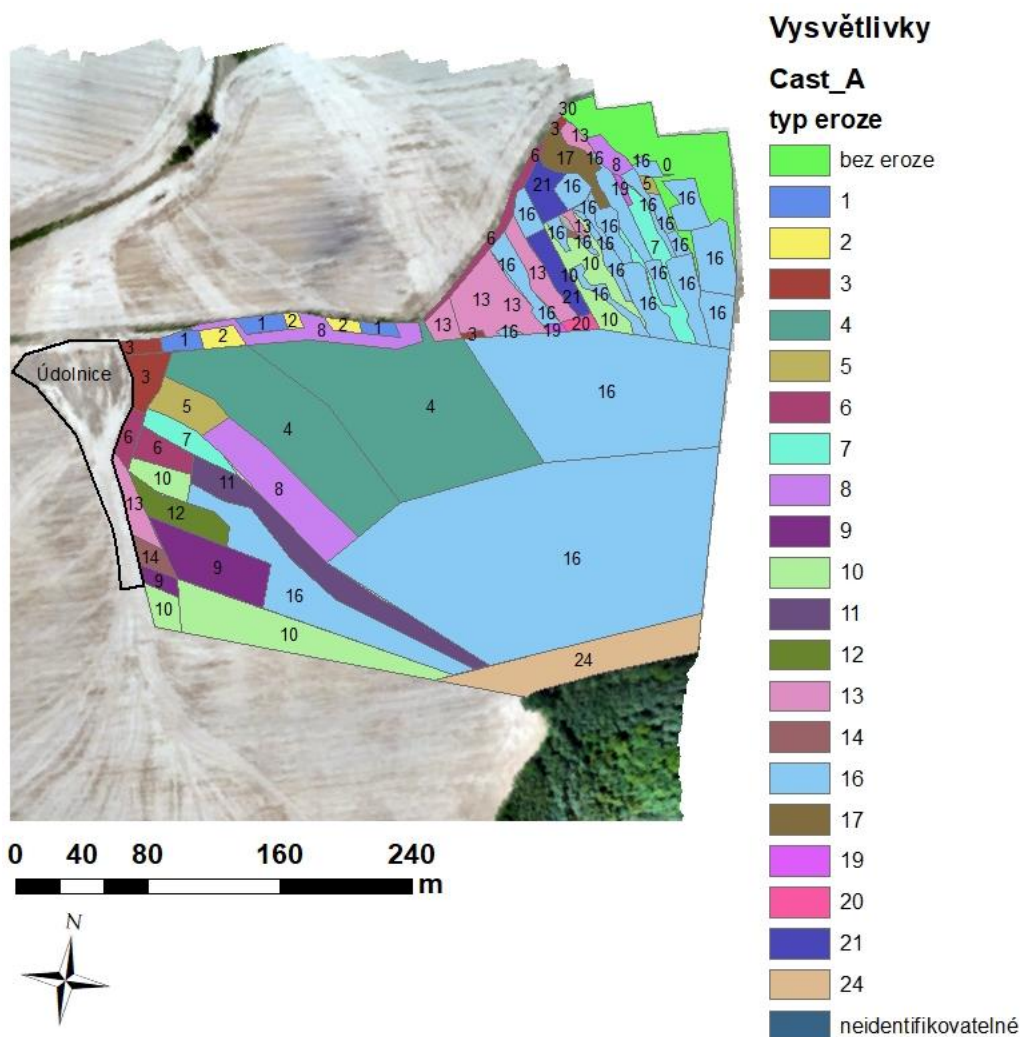
část	celková plocha (m <sup>2</sup> )
A	91 498
B	23 672
C	94 540
D	35 077
E	40 584
Údolnice	6 038
Suma	291 409

Na obrázku č. 31 je znázorněno rozdělení oblastí zájmového území na ortofoto 100 m a zároveň reprezentativní čtverce na ortofoto 25 m.



*Obrázek 31 Rozdělení zájmového území  
Vypracováno v programu ArcGIS  
Zdroj: ortofoto 100 m a 25 m, Agisoft PhotoScan*

Část A je rozdělena dle podobného typu poškození. Čísla v polygonech znamenají, ke kterému z reprezentativních čtverců je dané poškození přiřazeno. Na obrázku č. 32 je znázorněné toto rozdělení části A.



Obrázek 32: Rozdělení části A dle typu eroze  
Vypracováno v programu ArcGIS  
Zdroj: ortofoto 100 m a 25 m, Agisoft PhotoScan

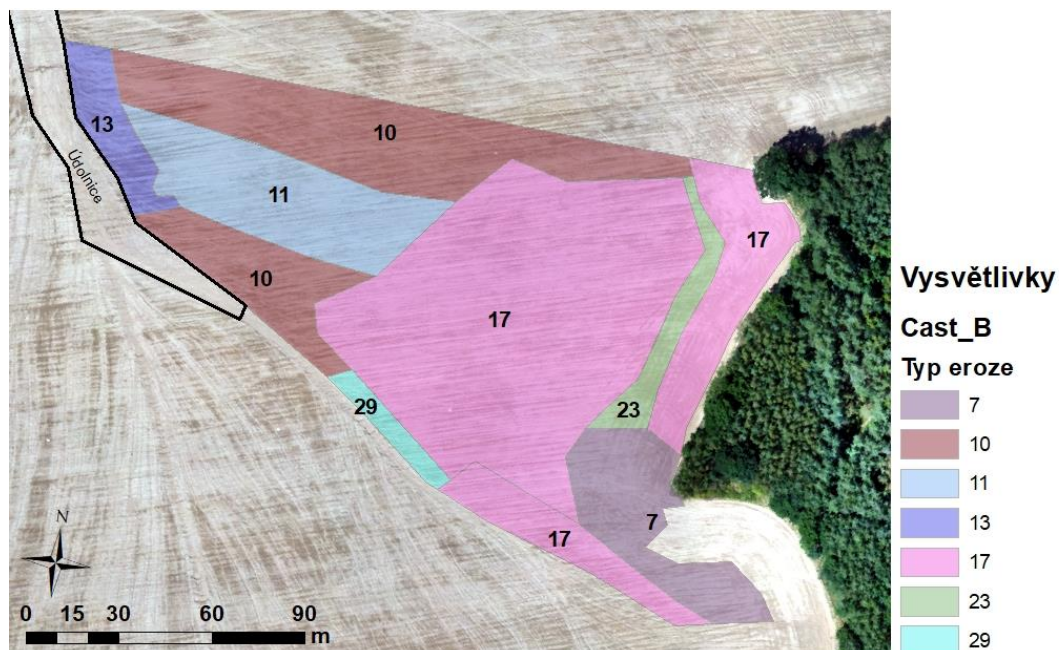
Z obrázku popisujícího část o stejném typu eroze je patrné, že podél hlavní proudnice je eroze více rozčleněna a odpovídá typu eroze nejbližšímu nacházejícímu se reprezentativnímu čtverci. Eroze podél dolní hranice části je také rozčleněna více a střídá se zde typ eroze čtverec 1 a 2, dále čtverec 3 a 6. Erozní činnost v pravém dolním rohu oblasti je rozčleněna do většího počtu menších částí, kdy se eroze na první pohled zdála být v každé části odlišná. Po bližší analýze bylo zjištěno, že

většina oblastí je zasažena erozí typu čtverec 16. Zbytek části 1 už byl rozdělen do menšího počtu větších celků, kde se vyskytují typy eroze čtverec 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 16 a 24.

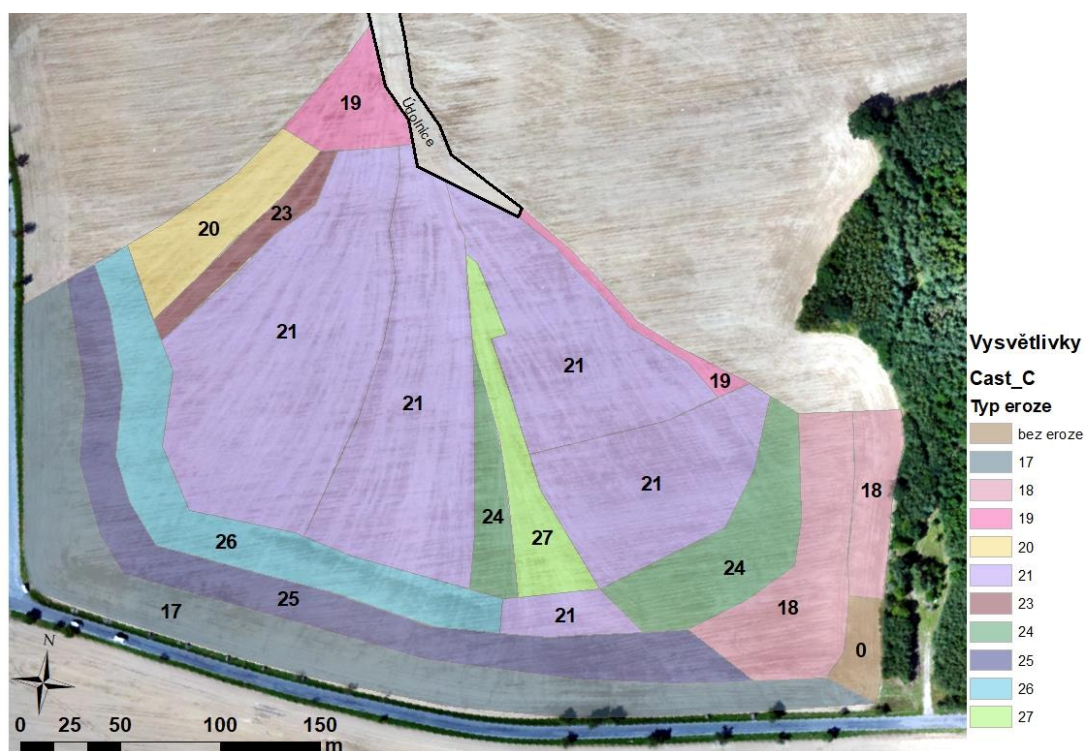
Byla vygenerována atributová tabulka všech polygonů rozdělené části A a k nim přiřazena čísla reprezentativních čtverců dle typu eroze. V atributové tabulce je také vypočítaná plocha každé dílčí části. Pomocí excelu bylo dopočítáno množství odneseného objemu materiálu z každého reprezentativního čtverce na jeden metr čtverečný. Jsou tedy známé dílčí úseky části A, daný typ eroze dle reprezentativního čtverce, plocha dílčího úseku a objem odneseného materiálu reprezentativního čtverce na jeden metr čtverečný. Plocha a objem na jeden metr čtverečný jsou mezi sebou přenásobeny dle polygonu a jemu odpovídajícímu typu eroze. Výsledkem je množství odneseného materiálu z části A.

Obdobným způsobem bylo postupováno při rozdělení částí B, C, D a E. Byly určeny dílčí úseky se stejným typem eroze a k nim přiřazeny reprezentativní čtverce dle podobnosti eroze. Obdobně byl vypočítán i objem odneseného materiálu z jednotlivých polygonů, a tedy z celých částí. Na obrázcích č. 33, 34, 35 a 36 je znázorněno rozdělení částí B, C, D a E na oblasti se stejným typem poškození. Dále v tabulce č. 12 je uvedeno množství odneseného materiálu a velikost zasažených ploch. V tabulce se vyskytuje také pole „oblast, se kterou nebylo počítáno“. Toto vystihuje plochy oblastí, kde se buďto eroze nevyskytuje vůbec nebo je zde eroze tak silného charakteru, že ji nebylo možné identifikovat a rozpoznat erozní rýhy, anebo se jedná o oblast vyskytující se na okraji zájmového území, kde není vytvořeno ortofoto o dostatečné kvalitě rozlišení tak, aby bylo možné rozpoznat erozi vůbec.

Hlavní proudnice, tedy údolnice, byla analyzována jako samostatná část. Na podkladu ortofoto 25 m byla provedena analýza erozních rýh stejně jako na reprezentativních čtvercích. Postup byl tedy ohraničení rýh polygony, definice osy spojující kraje polygonů, nástroj SpatialJoin a použití scriptu. Dále byla zjištěna zbývající plocha oblasti údolnice, která zasahuje na ortofoto 100 m. Na této části byl dopočítán objem odneseného materiálu obdobným způsobem jako u částí A až E. Oblast údolnice je znázorněna na obrázku č. 37 a 38 a množství objemu je zahrnuto v tabulce č. 12.



Obrázek 33 Rozdělení části B dle typu eroze  
 Vypracováno v programu ArcGIS  
 Zdroj: ortofoto 100 m a 25 m, Agisoft PhotoScan

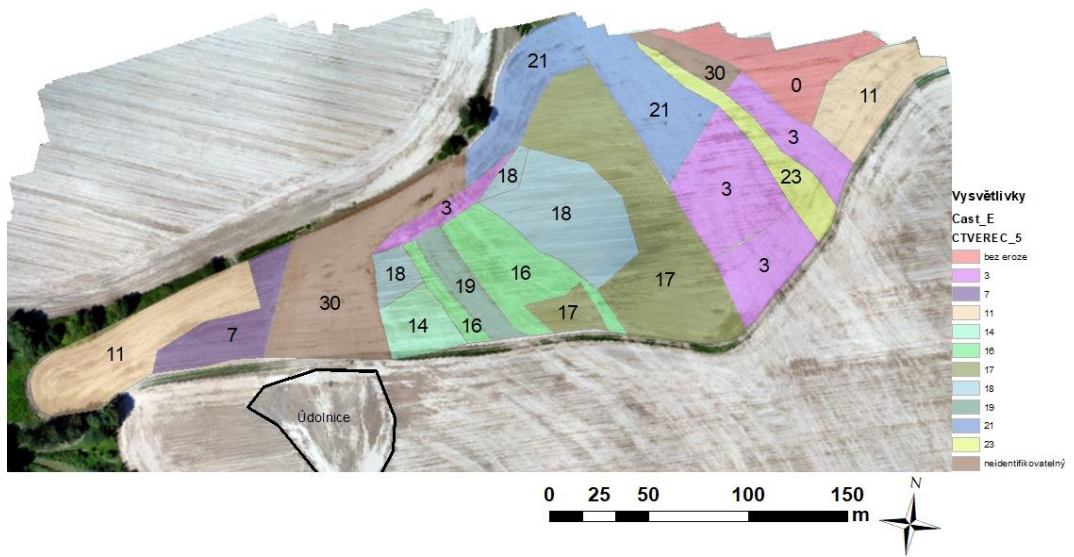


Obrázek 34 Rozdělení části C dle typu eroze  
 Vypracováno v programu ArcGIS  
 Zdroj: ortofoto 100 m a 25 m, Agisoft PhotoScan





Obrázek 35 Rozdělení části D dle typu eroze  
 Vypracováno v programu ArcGIS  
 Zdroj: ortofoto 100 m a 25 m, Agisoft PhotoScan



*Obrázek 36 Rozdělení části E dle typu eroze  
 Vypracováno v programu ArcGIS  
 Zdroj: ortofoto 100 m a 25 m, Agisoft PhotoScan*

**Část údolnice**



*Obrázek 37: Určení údolnice  
 Vypracováno v programu ArcGIS  
 Zdroj: ortofoto 100 m a 25 m, Agisoft PhotoScan*



Obrázek 38 Analýza erozních rýh - údolnice  
 Vypracováno v programu ArcGIS  
 Zdroj: ortofoto a 25 m, Agisoft PhotoScan

Tabulka 12: Vyhodnocení rýhové eroze  
 Zdroj: ArcGIS, Script Calculate Volume Rill, Jan Devátý

	objem odneseného materiálu (m <sup>3</sup> )	zasažená plocha (m <sup>2</sup> )	plocha, se kterou není počítáno (m <sup>2</sup> )	celková plocha (m <sup>2</sup> )
ČÁST A	199,9	90452,2	1045,8	91498,0
ČÁST B	44,6	22052,9	1619,1	23672,0
ČÁST C	378,2	93192,4	1347,6	94540,0
ČÁST D	87,5	34772,4	304,6	35077,0
ČÁST E	78,1	38700,8	1883,2	40584,0
ÚDOLNICE	14,2	6038,0		6038,0
SUMA	802,6	285208,7	6200,3	291409,0

### *Zpracování ortofoto 5 m a 15 m*

V této části se práce zabývá porovnáním přesnosti analýzy rýhové eroze na základě využití rozdílných DEM jakožto vstup pro výpočet objemů rýh pro script. Na obrázku č. 39 je určena lokalizace ortofota 15 m, na kterém toto porovnání bylo prováděno.

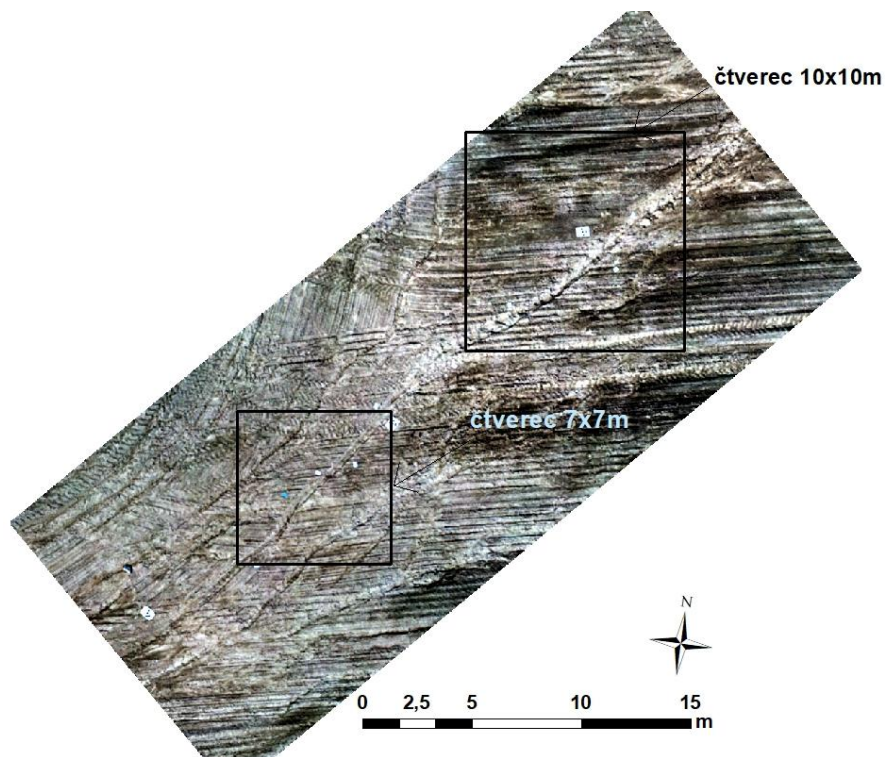
### **Ortofoto 25m a ortofoto 15m**



*Obrázek 39: Určení lokalizace ortofoto 15 m v rámci ortofoto 25 m  
Vypracováno v programu ArcGIS  
Zdroj: ortofoto 15 m a 25 m*

Postupně byla analyzována rýhová eroze na tomto území, a to v následujících krocích:

1. Určení dvou reprezentativních čtverců – jeden o rozloze 7x7m a druhý o rozloze 10x10m na ortofoto 15 m. Reprezentativní čtverce byly vybrány tak, aby zasahovaly ortofoto 5 m i 15 m a analýza tak mohla využít co nejvíce dat.



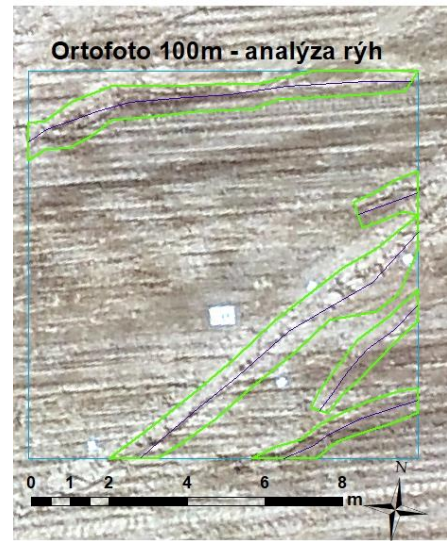
*Obrázek 40: Určení reprezentativních čtverců  
Vypracováno v programu ArcGIS  
Zdroj: ortofoto 15 m a 5 m*

2. Analýza erozních rýh na těchto reprezentativních čtvercích postupně s podkladem ortofoto 100 m, 25 m, 15 m a 5 m. V levé část je vždy čtverec o rozměrech 7x7m a vpravo čtverec o rozměrech 10x10m.

### Ortofoto 100m - analýza rýh



Obrázek 42 Analýza erozních rýh  
Vypracováno v programu ArcGIS  
Zdroj: ortofoto 5 m a 100 m  
Podklad: ortofoto 100 m neupravené



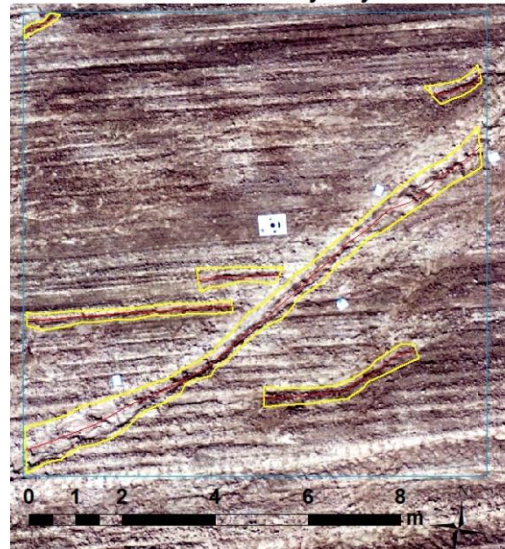
Obrázek 41 Analýza erozních rýh  
Vypracováno v programu ArcGIS  
Zdroj: ortofoto 5 m a 100 m  
Podklad: ortofoto 100 m neupravené

### Ortofoto 25m - analýza rýh



Obrázek 44: Analýza erozních rýh  
Vypracováno v programu ArcGIS  
Zdroj: ortofoto 5 m a 25 m  
Podklad: ortofoto 25 m neupravené

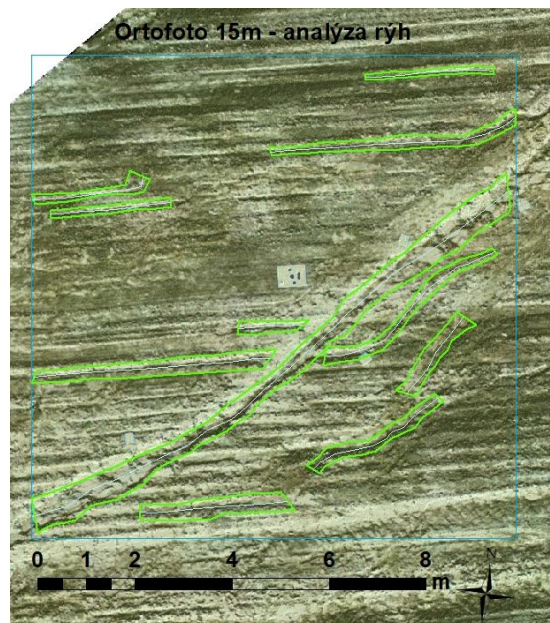
### Ortofoto 25m - analýza rýh



Obrázek 43 Analýza erozních rýh  
Vypracováno v programu ArcGIS  
Zdroj: ortofoto 5 m a 25 m  
Podklad: ortofoto 25 m neupravené



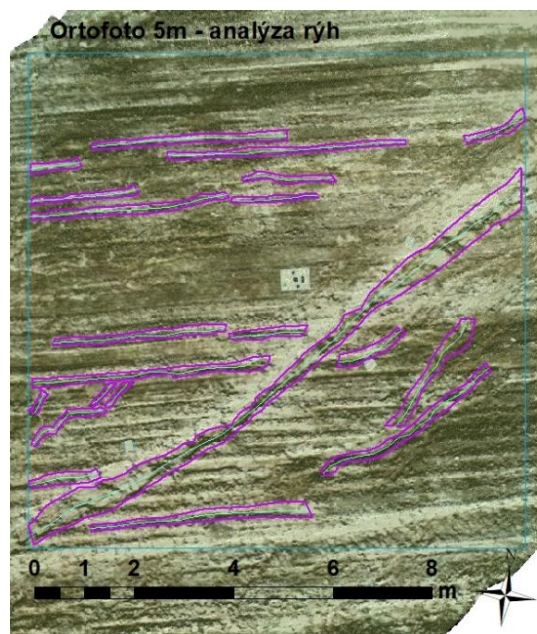
Obrázek 45 Analýza erozních rýh  
 Vypracováno v programu ArcGIS  
 Zdroj: ortofoto 5 m a DEM 15 m  
 Podklad: DEM 15 m upravené HillShade



Obrázek 46 Analýza erozních rýh  
 Vypracováno v programu ArcGIS  
 Zdroj: ortofoto 5 m a DEM 15 m  
 Podklad: DEM 15 m upravené HillShade



Obrázek 47 Analýza erozních rýh  
 Vypracováno v programu ArcGIS  
 Zdroj: ortofoto 5 m a DEM 5 m  
 Podklad: DEM 5 m upravené HillShade



Obrázek 48 Analýza erozních rýh  
 Vypracováno v programu ArcGIS  
 Zdroj: ortofoto 5 m a DEM 5 m  
 Podklad: DEM 5 m upravené HillShade

### 3. Výpočet objemu rýh použitím scriptu

Script byl použit obdobně jako pro analýzu erozních rýh v kapitole zpracování ortofoto 25 m a 100 m. Tabulka porovnává výpočet minimálních, maximálních a průměrných hloubek rýh, celkový objem rýh, objem odneseného materiálu na jeden metr čtverečný a objem odneseného materiálu z plochy 595 m<sup>2</sup>. Plocha o velikosti 595 m<sup>2</sup> je plocha, která byla zachycena snímkováním z 15 m.

*Tabulka 13: Výpočet objemu erozních rýh – srovnání*

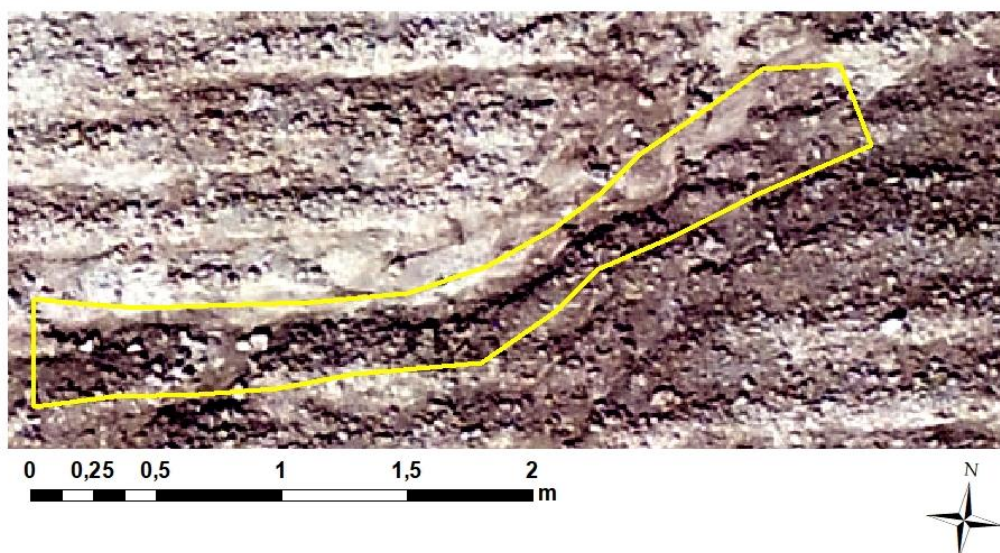
*Vypracováno v programu ArcGIS, zdroj: Script Calculate Volume Rill, Jan Devátý*

ortofoto	počet rýh	min hloubka (cm)	max hloubka (cm)	prům. hloubka (cm)	objem (m <sup>3</sup> /149m <sup>2</sup> )	objem (m <sup>3</sup> /1 m <sup>2</sup> )	celkový objem na ploše 595 m <sup>2</sup>
5 m	62	0,96	9,29	0,95	0,29	0,001925	1,15
15 m	34	1,42	12,48	1,16	0,46	0,003074	1,83
25 m	18	1,38	14,20	1,15	0,35	0,002380	1,42
100 m	9	0,02	0,07	0,009	0,17	0,001161	0,69

### 4. Analýza jedné erozní rýhy

Na základě výstupů ze scriptu je na následujících obrázcích (obrázky č. 49–52) ilustrovaná analýza jedné reprezentativní erozní rýhy. Ta byla vybrána na čtverci 10x10 m na podkladu ortofoto 25 m.

#### Erozní rýha



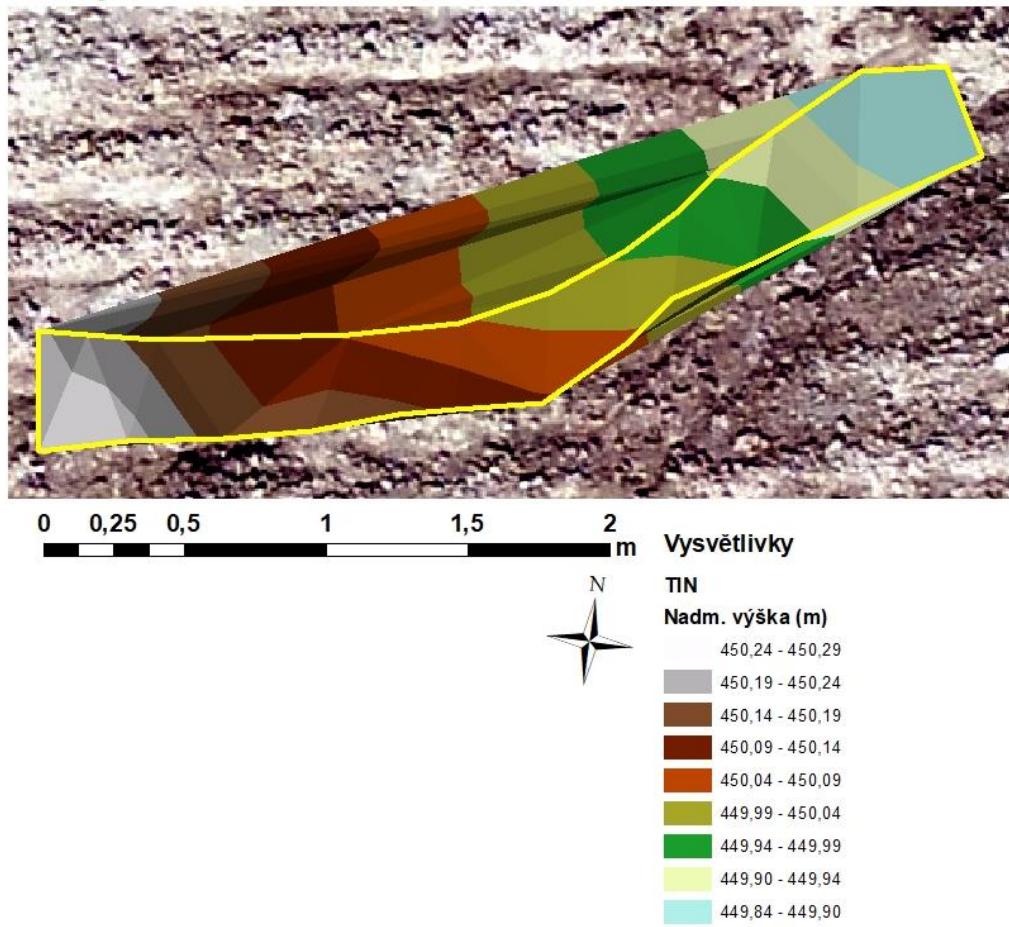
*Obrázek 49: určení erozní rýhy polygonem*

*Vypracováno v programu ArcGIS*

*Zdroj: ortofoto 25 m*

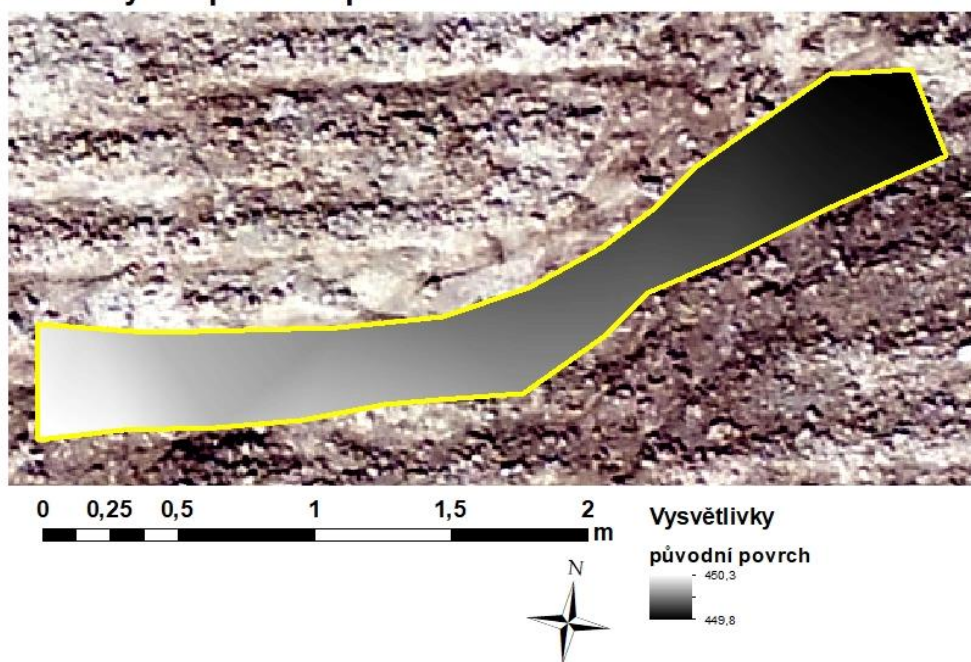


## Erozní rýha - TIN



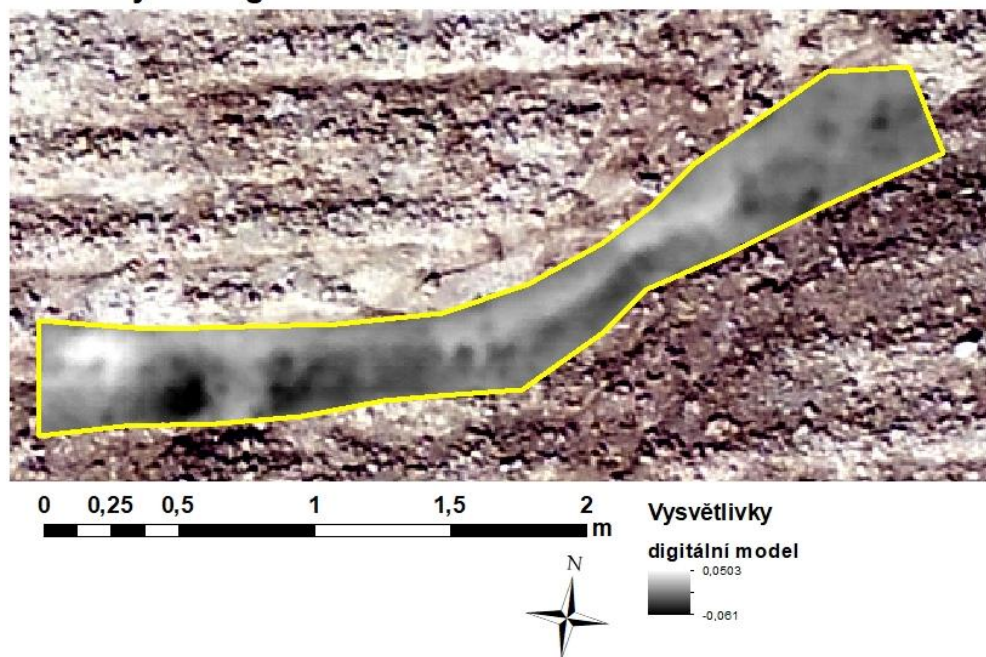
*Obrázek 50: Vygenerovaná síť TIN pro vybranou erozní rýhu  
Vypracováno v programu ArcGIS  
Zdroj: ortofoto 5 m a DEM 5 m*

### Erozní rýha - původní povrch



Obrázek 51: Původní povrch rýhy  
Vypracováno v programu ArcGIS  
Zdroj: ortofoto 5 m a DEM 5 m

### Erozní rýha - digitální model



Obrázek 52: digitální model terénu rýhy  
Vypracováno v programu ArcGIS  
Zdroj: ortofoto 5 m a DEM 5 m

## 9. VÝSLEDKY

Postupem, který je popsán výše v práci, byla vyhodnocena erozní činnost v oblasti zájmového území způsobená srážkou, která proběhla dne 11. 8. 2017.

### Ortofoto 25 m a 100 m

Výsledkem této analýzy je určení 27 odlišných typů eroze zachycených na reprezentativních čtvercích, kdy je podkladem vygenerované ortofoto ze softwaru Agisoft PhotoScan na snímcích zachycených z výšky 25 m. Dále je tato analýza vztažena na celé zájmové území, tedy na ortofoto vygenerované ze snímků zachycených z výšky 100 m.

Tabulka č. 14 uvádí objem erozních rýh na reprezentativních čtvercích, tedy na ploše 100 m. Objem je přepočítán na jeden metr čtverečný.

Tabulka 14: Reprezentativní čtverce – objemy

	Čtverec	objem(m <sup>3</sup> )/100m <sup>2</sup>	objem(m <sup>3</sup> )/1m <sup>2</sup>
1	1	0,104991	0,00105
2	2	0,194131	0,001941
3	3	0,175463	0,001755
4	4	0,232149	0,002321
5	5	0,067452	0,000675
6	6	0,068894	0,000689
7	7	0,118397	0,001184
8	8	0,136223	0,001362
9	9	0,113236	0,001132
10	10	0,213635	0,002136
11	11	0,081472	0,000815
12	12	0,354097	0,003541
13	13	0,105774	0,001058
14	14	0,147388	0,001474
15	16	0,274737	0,002747
16	17	0,22806	0,002281
17	18	0,160869	0,001609
18	19	0,132563	0,001326
19	20	0,482282	0,004823
20	21	0,556064	0,005561
21	22	1,048261	0,010483
22	23	0,417708	0,004177
23	24	0,199621	0,001996
24	25	0,320719	0,003207

25	26	0,540334	0,005403
26	27	0,237118	0,002371
27	29	0,340121	0,003401
<b>Celkový objem</b>		<b>7,051759 m<sup>3</sup></b>	
<b>celková plocha</b>		<b>2700 m<sup>2</sup></b>	

Tabulka č. 15 uvádí typ eroze, celkový objem rýh, který je daným typem způsobem v rámci celého zájmového území, celkovou plochu zasaženou daným typem eroze, procentuální zastoupení tohoto typu eroze na celkové zasažené ploše a na celkové ploše území. Nejvíce zastoupený typ eroze: 16, 21 a 17. Pro údolnici byl spočítán objem rýh pouze dle polygonů určených na obrázku č. 38, dolní část údolnice byla velmi špatně definovatelná. Toto je vztaženo na oblast údolnice definovanou na celém zájmové území. Dále se v tabulce nachází typ eroze neidentifikovatelná. Tímto jsou zastoupeny ty části povodí, kde k erozi došlo, nicméně nebylo možno ji definovat některým z reprezentativních čtverců. Dalším polem tabulky je typ eroze „bez eroze“. Zde se jedná o několik oblastí, které byly určeny jako oblasti bez erozního vlivu. U těchto je v tabulce počítáno pouze v rámci celkové plochy.

Tabulka 15: celkový objem rýh na zájmovém území

	typ eroze čtverec	objem (m <sup>3</sup> )	plocha (m <sup>2</sup> )	% zasažená plocha	% celková plocha
1	16	124,32	48323,67	16,94	16,58
2	24	45,78	22934,01	8,04	7,87
3	3	12,05	6866,62	2,41	2,36
4	13	6,44	6087,52	2,13	2,09
5	21	258,49	46486,08	16,30	15,95
6	20	22,62	4689,33	1,64	1,61
7	6	0,99	1432,43	0,50	0,49
8	14	2,05	1389,10	0,49	0,48
9	8	5,39	3956,69	1,39	1,36
10	19	5,33	4020,32	1,41	1,38
11	5	0,66	984,32	0,35	0,34
12	10	15,41	10267,10	3,60	3,52
13	9	2,40	2117,55	0,74	0,73
14	11	8,61	10564,72	3,70	3,63
15	7	4,79	5003,49	1,75	1,72
16	4	36,29	15631,71	5,48	5,36
17	1	0,90	857,01	0,30	0,29

18	2	1,36	539,15	0,19	0,19
19	29	11,07	3253,47	1,14	1,12
20	17	<b>90,61</b>	<b>41372,95</b>	<b>14,51</b>	<b>14,20</b>
21	23	25,43	6088,04	2,13	2,09
22	18	17,67	11153,46	3,91	3,83
23	25	28,30	8822,90	3,09	3,03
24	26	42,60	7884,41	2,76	2,71
25	27	10,37	4358,60	1,53	1,50
	údolnice	14,2	6038,312	2,12	2,07
	neidentifikovatelná		6219,6	2,18	2,13
	bez eroze		6486,1		2,23
	<b>suma</b>	<b>3344,56</b>	<b>287342,59</b>	<b>100,75</b>	<b>98,60</b>

## Ortofoto 5 m a 15 m

Tabulka č. 16 udává výsledky objemů rýh na reprezentativním čtverci 7x7 m a 10x10 m určením na ortofoto 5 m. Pro výpočet byl postupně volen jako podklad DEM 5 m, 15 m, 25 m a 100 m.

Tabulka 16: Výpočet objemu erozních rýh – srovnání

ortofoto	počet rýh	min hloubka (cm)	max hloubka (cm)	prům. hloubka (cm)	objem (m <sup>3</sup> /149m <sup>2</sup> )	objem (m <sup>3</sup> /1 m <sup>2</sup> )	celkový objem na ploše 595 m <sup>2</sup>
5 m	62	0,96	9,29	0,95	0,29	0,001925	1,15
15 m	34	1,42	12,48	1,16	0,46	0,003074	1,83
25 m	18	1,38	14,20	1,15	0,35	0,002380	1,42
100 m	9	0,02	0,07	0,009	0,17	0,001161	0,69

## 10. DISKUZE VÝSLEDKŮ

V rámci této diplomové práce, kde bylo postupováno zmíněným postupem pro analýzu rýhové eroze, je vhodné výsledky okomentovat. V rámci vyhodnocování analýzy mohlo dojít nepřesnostem až k chybnému vyhodnocení, a to na základě následujících nejistot objevujících se v průběhu práce.

## Nejistoty:

- Zorientování se v problematice – pro uživatele může být z počátku náročnější rozpoznat jednotlivé rýhy a erozní poškození
- Definice rýh – subjektivní hodnocení erozních rýh. Každý uživatel by tuto analýzu provedl pravděpodobně odlišně.
- Přesnost modelů – ortofoto modely 5 m a 15 m jsou mnohem přesnější než ortofoto 25 m a 100 m. Ve výsledcích z vyhodnocování přesnosti modelů ortofoto 5 m, 15 m, 25 m a 100 m lze vyčíst, jak je který model přesný v rámci vyhodnocování rýh. Na modelu ortofoto 100 m bylo možné identifikovat mnohem menší počet rýh než na ortofoto 15 m.
- Rozlišení modelů a aplikace scriptu – script dokázal jako podkladový DEM použít DEM 5 m, 15 m a 25 m. Pro DEM 100 m výpočty neprobíhaly z důvodu nedostatečného rozlišení. Aby výpočet s podkladem DEM 100 m proběhl, muselo být provedeno převzorkování tohoto podkladu a zpřesnění rozlišení.
- Plocha, se kterou není počítáno pro vyhodnocení eroze – na území o rozloze 6219,6 m<sup>2</sup> byla erozní činnost určena jako neidentifikovatelná. Nevstupuje tak do vyhodnocení objemu rýh a zkresluje výsledný výpočet.

V rámci analýzy rýhové eroze byla zjištěna chyba v kroku SpatialJoin, který je potřebný k přípravě vstupu pro aplikaci scriptu. Došlo ke špatnému přiřazení polygonů a os, kdy některé byly duplikovány. Tato chyba byla odstraněna a objemy rýh přepočítány. Výsledné objemy a hloubky rýh byly porovnány a bylo zjištěno, že tato chyba neměla tak zásadní vliv na přesnost výpočtu, jak bylo předpokládáno.

## 11. ZÁVĚR

Tato diplomová práce zpracovává snímky pořízené metodami blízké fotogrammetrie. Je využito softwaru Agisoft PhotoScan, který pracuje na principu různých metod fotogrammetrie a snímky zpracovává skoro automaticky. Je tedy

velmi vhodným softwarem pro zpracovávání snímkování. Je také uživatelsky velice přátelský. Dokáže vygenerovat modely povrchu a terénu a jeho využití je opravdu široké.

Velká část práce byla zpracovávána v programu ArcGIS, kde se ukázalo jeho rozmanité využití. Bylo použito velké množství dostupných nástrojů. Dále je v práci ukázáno, jak se dá využít bohaté nastavení pro různé vrstvy v ArcGIS, jako například možnosti vizualizace vrstev v záložce symbology.

Práce odkazuje na velmi sofistikované zpracovávání dat Agisoftem a generování podkladů jako ortofoto a DEM. Ty jsou dále využívány v aplikacích GIS, zde konkrétně v ArcGIS. Vygenerované ortofoto a DEM jsou stěžejním pokladem pro celou práci, která se zabývá analýzou rýhové eroze. Z diskuze výsledků je vidno, že analýza byla ovlivněna několika faktory, které celou analýzu činí méně přesnou. Jedná se hlavně o subjektivní vyhodnocování rýh uživatelem.

Závěrem lze říci, že v této diplomové práci je velmi detailně naznačen postup pro analýzu rýhové eroze, kdy se využívá softwaru Agisoft a programu ArcGIS pro její zpracování. V práci se také osvědčuje použití scriptu, který byl speciálně pro tyto účely vyvinut na katedře K143. Výsledky práce vyhodnocují důsledky rýhové eroze na zájmovém území. To se nacházelo v referenčním stavu a zaujímá rozlohu 0,291 km<sup>2</sup>. Výsledná analýza by se dala použít pro vyhodnocení rýhové eroze na sousedních pozemcích, kde proběhla dne 11. 8. 2017 stejná srážková událost a povrch pozemků byl ve stejném stavu. Vhodnou volbou přepočtu eroze mezi zájmovým a sousedními pozemky by mohlo být určení objemu erozních rýh na rozlehlejší oblasti. Tato informace by byla však pouze informativní a poskytovala by pouze hrubý odhad.

## 12. SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Plošné zastoupení BPEJ na zájmovém území .....	15
Tabulka 2: Určení BPEJ na zájmovém území .....	15
Tabulka 3: Význam kódu BPEJ .....	19
Tabulka 4: Význam kódu BPEJ 7.50.11 .....	19
Tabulka 5: Faktory ovlivňující vodní erozi .....	24
Tabulka 6: Příklady softwarů používaných pro fotogrammetrické zpracování dat a tvorbu 3D modelů .....	29
Tabulka 7: Informace o zpracovávaných náletech.....	38
Tabulka 8: Popis snímacího zařízení.....	38
Tabulka 9: Parametry zpracování .....	39
Tabulka 10: popis reprezentativních čtverců 25 m .....	52
Tabulka 11: plocha částí A - E.....	60
Tabulka 12: Vyhodnocení rýhové eroze.....	67
Tabulka 13: Výpočet objemu erozních rýh – srovnání .....	72
Tabulka 14: Reprezentativní čtverce - objemy .....	75
Tabulka 15: celkový objem rýh na zájmovém území .....	76
Tabulka 16: Výpočet objemu erozních rýh – srovnání .....	77



## 13. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Určení lokality zájmového území .....	11
Obrázek 2: Určení lokality zájmového území .....	12
Obrázek 3: Určení lokality zájmového území .....	12
Obrázek 4: Rozměry zájmového území .....	13
Obrázek 5: Určení BPEJ na zájmovém území.....	14
Obrázek 6: Rýhová eroze .....	21
Obrázek 7: Rýhová eroze .....	22
Obrázek 8: Stádia výmolné eroze .....	23
Obrázek 9: Rozdělení fotogrammetrie .....	26
Obrázek 10: DJI F550 hexakoptér .....	28
Obrázek 11: Lokalizace srážkoměru .....	32
Obrázek 12: Radarový snímek zachycující srážku v čase 14:00 .....	33
Obrázek 13: Radarový snímek zachycující srážku v čase 14:45 .....	33
Obrázek 14: Radarový snímek zachycující srážku v čase 15:00 .....	34
Obrázek 15: Histogram charakterizující průběh srážkových úhrnů.....	35
Obrázek 16: Phantom 4Pro.....	38
Obrázek 17: Polygon určující zájmové území.....	41
Obrázek 18: Zájmové území .....	43
Obrázek 19: Rozdělní zájmového území.....	45
Obrázek 20: Reprezentativní čtverce .....	46
Obrázek 21: Analýza erozních rýh, čtverec 15.....	47
Obrázek 22: Použití nástroje SpatialJoin Zdroj: ArcGIS .....	48
Obrázek 23: Použití scriptu Zdroj: ArcGIS.....	49
Obrázek 24: Analýza erozních rýh.....	50
Obrázek 25 Analýza erozních rýh .....	50
Obrázek 26 Analýza erozních rýh.....	50
Obrázek 27: Analýza erozních rýh .....	51
Obrázek 28 Analýza erozních rýh .....	51
Obrázek 29 Analýza erozních rýh .....	52
Obrázek 30 Rozdělení zájmového území .....	60
Obrázek 31 Rozdělení zájmového území .....	61

Obrázek 32: Rozdělení části A dle typu eroze.....	62
Obrázek 33 Rozdělení části B dle typu eroze .....	64
Obrázek 34 Rozdělení části C dle typu eroze .....	64
Obrázek 35 Rozdělení části D dle typu eroze .....	65
Obrázek 36 Rozdělení části E dle typu eroze .....	66
Obrázek 37: Určení údolnice .....	66
Obrázek 38 Analýza erozních rýh - údolnice .....	67
Obrázek 39: Určení lokalizace ortofoto 15 m v rámci ortofoto 25 m.....	68
Obrázek 40: Určení reprezentativních čtverců .....	69
Obrázek 41 Analýza erozních rýh.....	70
Obrázek 42 Analýza erozních rýh.....	70
Obrázek 43 Analýza erozních rýh.....	70
Obrázek 44: Analýza erozních rýh.....	70
Obrázek 45 Analýza erozních rýh .....	71
Obrázek 46 Analýza erozních rýh .....	71
Obrázek 47 Analýza erozních rýh.....	71
Obrázek 48 Analýza erozních rýh V .....	71
Obrázek 49: určení erozní rýhy polygonem .....	72
Obrázek 50: Vygenerovaná síť TIN pro vybranou erozní rýhu.....	73
Obrázek 51: Původní povrch rýhy .....	74
Obrázek 52: digitální model terénu rýhy.....	74

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] VŮMOP. *eKatalog BPEJ*. [online]. [vid. 2017-12-25]. Dostupné z: <https://bpej.vumop.cz/>
- [2] HAVEL, Pavel. Rostoucí plochy řepky: problém, ale ne ten největší. *Objective Source E-Learning* [online]. 7. 2. 2017 [cit. 2017-12-29]. Dostupné z: <http://www.osel.cz/9234-rostouci-plochy-repky-problem-ale-ne-ten-nejvetsi.html>
- [3] KULOVANÁ, Eliška. Protierozní agrotechnika zlepšuje půdní vlastnosti a chrání půdu před erozí. *Úroda*. [online]. 19. 9. 2001 [cit. 2017-12-29]. dostupné z: <http://uroda.cz/protierozni-agrotechnika-zlepsuje-pudni-vlastnosti-a-chrani-pudu-pred-erozi/>
- [4] VÍTEJTE NA ZEMI. *Co je to půda?*. [online]. [vid. 2017-12-30]. Dostupné z: [http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=obecne-prirodovedny\\_pohled&site=puda](http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=obecne-prirodovedny_pohled&site=puda)
- [5] VÁCLAVÍK, František. Řepka a degradace půdy erozí. [online]. 2015 [cit. 2017-12-29]. Dostupné z: [www.asz.cz/filemanager/files/file.php?file=178894](http://www.asz.cz/filemanager/files/file.php?file=178894)
- [6] PORTAL VEREJNE SPRAVY. *Zákon č. 48/2011 Sb.* [online]. [vid. 2017-12-29]. Dostupné z: <https://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?idBiblio=73839&nr=48~2F2011&rpp=15#local-content>
- [7] PORTAL VEREJNE SPRAVY. *Zákon č. 327/1998 Sb.* [online]. [vid. 2017-12-29]. Dostupné z: <https://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?idBiblio=47056&nr=327~2F1998&rpp=15#local-content>
- [8] PORTAL VEREJNE SPRAVY. *Vyhláška č. 546/2002*. [online]. [vid. 2017-12-29]. Dostupné z: <https://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?idBiblio=54130&nr=546~2F2002&rpp=15#local-content>
- [9] PORTAL VEREJNE SPRAVY. *Zákon č. 344/1992 Sb.* [online]. [vid. 2017-12-29]. Dostupné z: <https://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?idBiblio=40058&fulltext=ZEM~C4~9AD~C4~9ALSK~C3~9D~20P~C5~AEDN~C3~8D~20FOND&rpp=15#local-content>
- [10] Bonitace a oceňování půdy v České republice. *pozemkyafarmy.cz*. [online]. 17. 12. 2014 [cit. 2017-12-29]. Dostupné z: <http://www.pozemkyafarmy.cz/magazin/bonitace-a-ocenovani-pudy-v-ceske-republice-11.html>

- [11] ŠVEHLA, František a VAŇOUS Miloslav. *Organizace a ochrana půdního fondu*. Praha: Ediční středisko Českého vysokého učení technického, 1991. ISBN: 80-0100-660-3.
- [12] eAGRI. *Právní předpisy MZe*. Odstavec předpisu 327/1998. [online]. [vid. 2017-12-29]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/100163547.html>
- [13] Water Erosion (english version). In: *Youtube* [online]. 27.8.2011 [cit. 2017-12-25]. Dostupné z: [https://www.youtube.com/watch?v=ofhQvAu\\_LII](https://www.youtube.com/watch?v=ofhQvAu_LII)
- [14] Auckland Design Manual. *Types of erosion*. [online]. [vid. 2017-12-25]. Dostupné z: <http://content.aucklanddesignmanual.co.nz/project-type/infrastructure/technical-guidance/erosionsedimentcontrol/details/guidance/erosionsedimentcontrolinauckland/sections/erosionandsedimentationintheaucklandregion/typesoferosion/Pages/default.aspx>
- [15] The Soil Erosion Site. *Soil Erosion by Water*. [online]. [vid. 2017-12-25]. Dostupné z: [http://soilerosion.net/water\\_erosion.html](http://soilerosion.net/water_erosion.html)
- [16] HOLÝ, Miloš. *Vodní eroze v ČSSR: Water erosion in Czechoslovakia*. Praha: Ministerstvo lesního a vodního hospodářství, 1970. OCLC: 652380998
- [17] Techmania Science Center. *Eduportál*. Atmosférické srážky. [online]. [vid. 2017-12-27]. Dostupné z: <http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/meteorologie/atmosfericke-srazky>
- [18] Portal ČHMI. *Dešťové srážky*. [online]. [vid. 2017-12-27]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/om/sivs/dest.html>
- [19] PAVELKA, Karel. *Fotogrammetrie*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2003. ISBN 80-7082-972-9.
- [20] Vysoké učení technické v Brně. *Závěrečné práce*. Dokumentace historických artefaktů s využitím blízké fotogrammetrie. [online]. [vid. 2017-12-28]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=76614](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=76614)
- [21] G4D blíž k realitě. *Letecké snímkování*. [online]. [vid. 2017-12-28]. Dostupné z: <https://www.g4d.cz/>
- [22] Agisoft. *About*. [online]. [vid. 2017-12-28]. Dostupné z: <http://www.agisoft.com/>
- [23] ŽÍŽALA Daniel, KRÁSA Josef a kol. *Monitoring erozního poškození půd v ČR nástroji dálkového průzkumu Země*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. 2016. ISBN 978-80-87361-63-4

[24] indiandronestore. *DJI F5500*. [online]. [vid. 2018-01-05] Dostupné z: <https://indiandronestore.wordpress.com/2016/08/10/dji-f550-ready-to-fly-hexacopter-for-aerial-photographyflower-dropping/>

[25] JANEČEK, Miloslav a kol. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. [online]. [vid. 2017-12-25]. Dostupné z: [http://storm.fsv.cvut.cz/data/files/p%C5%99edm%C4%9Bty/YPEO/Methodika\\_PE\\_O\\_novelizace%20upravene%2025\\_1\\_2012.pdf](http://storm.fsv.cvut.cz/data/files/p%C5%99edm%C4%9Bty/YPEO/Methodika_PE_O_novelizace%20upravene%2025_1_2012.pdf)

[26] BÁČOVÁ Markéta, KRÁSA Josef, DEVÁTÝ Jan, KAVKA, Petr. *A GIS method for volumetric assessments of erosion rills from digital surface models*. Journal European Journal of Remote Sensing. 24. 12. 2017. [dosud nepublikovaný článek].

[27] peckamodel. *Kvadrokoptéra DJI – Phantom 4Pro*. [online]. [vid. 2018-01-05]. Dostupné z: <https://www.peckamodel.cz/produkt/rc-modely-a-prislusenstvi/rc-multikoptery-a-prislusenstvi/drony-dji/dji0422-04-dji-phantom-4-pro-pro-bez-tx-kamera-aku-a-nabijec>

### **Právní předpisy**

Úplné znění Zákona č. 344/1992 Sb., o katastru nemovitostí České republiky (katastrální zákon), jak vyplývá ze změn provedených zákonem č. 89/1996 Sb., zákonem č. 103/2000 Sb. A zákonem č. 120/2000 Sb.

Vyhláška č. 48/2011 Sb., o stanovení tříd ochrany.

Vyhláška č. 327/1998 Sb., kterou se stanoví charakteristika bonitovaných půdně ekologických jednotek a postup pro jejich vedení a aktualizaci, ve znění vyhlášky č. 546/2002 Sb.

Vyhláška č. 546/2002, kterou se mění vyhláška č. 327/1998 Sb., kterou se stanoví charakteristika bonitovaných půdně ekologických jednotek a postup pro jejich vedení a aktualizaci.