

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

FAKULTA STAVEBNÍ



Kryštof Valenta

**VLIV POŽÁRU NA ZMĚNY PŮDY A VÝVOJ
VEGETAČNÍHO KRYTU**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Petr Kavka Ph.D.

Studijní program: Stavební Inženýrství

Studijní obor: Inženýrství životního prostředí

2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Valenta Jméno: Kryštof Osobní číslo: 494090
Zadávající katedra: Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor/specializace: Inženýrství životního prostředí

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Vliv požáru na změny půdy a vývoj vegetačního pokryvu
Název bakalářské práce anglicky: Postfire effects on soil properties and vegetation cover

Pokyny pro vypracování:

V rámci práce zhodnoťte současný vývoj vybraného experimentálního území po požáru v NP České Švýcarsko. Na odebraných vzorcích půdy a smyvu zhodnoťte změny texturních vlastností a obsahu uhlíku v půdě a smyvu.

A dále na snímcích pořízených pomocí UAV proveďte analýzu vývoje vegetačního pokryvu a možných erozních projevů. Zejména se jedná o detekci projevů soustředěného odtoku a vymývání organických látek. A o sledování přirozené obnovy vegetačního pokryvu.

Seznam doporučené literatury:

Manulály SW ke zpracování UAV (ArGIS, Agisoft, CloudCompare)

Podklady pro cvičení z předmětu Pedologie.

Návod na zpracování a využití MASTERSIZER 3000 (Malvern Panalytical), Wet sieving technique (Kemper 1966)

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Petr Kavka, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 2.3.2023 Termín odevzdání BP v IS KOS: 22.5.2023
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské 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“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracovala samostatně s pomocí uvedených použitých zdrojů informací a za odborného vedení Ing. Petra Kavky Ph.D. V případě řádné citace souhlasím s použitím této práce ve smyslu zákona č. 121/2000 Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

Kryštof Valenta

V Praze dne.....

.....

Poděkování

Především děkuji vedoucímu mé práce panu Ing. Petrovi Kavkovi Ph.D. za ochotu vést práci i přes můj zahraniční pobyt, trpělivost a doporučení a rady při řešení úkolů v rámci této bakalářské práce.

Dále také Ing. Tomáši Laburdovi Ph.D. za pomoc a rady při zpracování dat z UAV, Ing. Martinovi Neumannovi Ph.D. za informace ohledně experimentu provedeného dešťovým simulátorem, Ing. Michalovi Vránovi za pomoc při měření TOC a v neposlední řadě také Ing. Janu-Františku Kubátovi za pomoc při měření zrnitosti.

Nakonec také panu Ing. Davidu Zumrovi Ph.D. za možnost vypracovat bakalářskou práci jako součást následujícího projektu.

Bakalářská práce vznikla v rámci projektu financovaného MŠMT (program INTER-EXCELLENCE, podprogram INTER-COST) č. LTC 20001 "Fire Effects on Soils".

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá zkoumáním půdních charakteristik a obnovy vegetace po lesním požáru v České Švýcarsku. Konkrétněji se soustřeďuje na vztah mezi erozí živin a obnovou vegetace. Zpracovaná data v této práci byla získána z experimentů provedených na dešťovém simulátoru, z odebraných půdních vzorků, ze vzorků přirozeného smyvu na trvale instalovaných plochách a také z náletů UAV (Unmanned Aerial Vehicle). Všechna tato data byla zajištěna kolektivem katedry hydromeliorací a krajinného inženýrství. Práce dále zahrnuje teoretický základ pedologických principů a dálkového průzkumu země (DPZ). V metodologické části jsou popsány metody a technologie použité pro získání půdních a erozních vzorků a pro jejich následné zkoumání. Je popsána také technika použitá k získání dat DPZ a jsou shrnuty postupy provedené v jednotlivých programech, ve kterých byla data upravována. Dále jsou prezentovány výsledky z analýz měření TOC a zrnitosti, ta jsou následně porovnána. Na datech z UAV byla provedena simulace odtoku a byl také vypočítán NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Výstupy ze simulace a NDVI jsou následně porovnány s ortofoto snímkem pro zjištění validity.

Klíčová slova

požár, půda, vegetace, dálkový průzkum země, DPZ, zrnitost, TOC, eroze, dešťový simulátor, UAV, NDVI

Abstract

This bachelor thesis focuses on the study of soil characteristics and vegetation recovery after forest fire in Czech Switzerland. More specifically, it focuses on the relationship between nutrient erosion and vegetation recovery. The data processed in this paper were obtained from experiments conducted on a rain simulator, from collected soil samples, from natural erosion samples on permanently installed surfaces and also from Unmanned Aerial Vehicle (UAV) raids. All these data were provided by the collective of the Department Landscape Water Conservation. The thesis first covers the theoretical basis of pedological principles and remote sensing (RS). The methodological part describes the methods and technologies used for obtaining soil and erosion samples and for their subsequent analysis. The techniques used to acquire the UAV data are described and so is the procedures in the different programs in which the data were analyzed. Results from the analysis of TOC and grain size measurements are also presented and compared. A runoff simulations were performed on the UAV data and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was also calculated. The simulation and NDVI outputs are then compared with the orthophoto imagery to confirm validity.

Key words

fire, soil, vegetation, remote sensing, RS, grain size, TOC, erosion, rain simulator, UAV, NDVI

1	ÚVOD	1
2	NÁRODNÍ PARK ČESKÉ ŠVÝCARSKO	2
2.1	Geologie a pedologie	2
2.2	Vegetace.....	3
2.3	Požár.....	3
2.4	Zkoumaná lokalita.....	4
3	TEORETICKÁ ČÁST	6
3.1	Struktura	6
3.2	Textura	7
3.3	Eroze.....	9
3.4	Uhlík v půdě	11
3.5	Záření	12
3.6	Fotogrammetrie	13
4	METODY MĚŘENÍ	14
4.1	Odběry půdních vzorků	14
4.2	Dešťový simulátor	14
4.3	Trvale instalované plochy.....	15
4.4	Laboratorní měření	15
4.4.1	Mastersizer 3000.....	16
4.4.2	Analytik Jena – TOC Analyser	17
4.5	Dálkové pozorování země (DPZ)	18
4.5.1	LiDAR	19
4.5.2	Multispektrální kamera.....	20
4.5.3	RGB kamera.....	21
4.6	Zpracování dat z UAV	22
4.6.1	Agisoft	22
4.6.2	CloudCompare.....	23
4.6.3	ArcGIS PRO	24
5	VÝSLEDKY	26
5.1	Charakteristiky půdy a erozního smyvu	26
5.1.1	Půdní charakteristiky.....	27

5.1.2	Experimentální dešťový simulátor	34
5.1.3	Přirozený smyv	40
5.2	Výsledky dat získaných pomocí UAV.....	43
5.2.1	Erozní rýhy.....	43
5.2.2	Porovnání metod DPZ	45
5.2.3	NDVI	49
6	ZÁVĚR.....	54

1 Úvod

Na úplném začátku této práce stojí bezprecedentní událost, která se stala v létě roku 2022 v národním parku Český Švýcarsko. Vypukl zde požár rozměrů, které v České republice rozhodně nejsou běžné. Jednalo se o největší lesní požár tohoto tisíciletí. Celá tematika vývoje půdních charakteristik a vegetace po této události mě velmi zaujala, a proto jsem se také rozhodl napsat na toto téma svoji bakalářskou práci.

Vnímal jsem to také jako příležitost zkombinovat lokální konkrétní metody odebírání půdních vzorků a jejich následné zkoumání s moderními přístupy využití dronů a počítačových simulací.

Hlavní tezí této práce je předpoklad, že po požáru byl organický uhlík uvolněn na povrchu lokality a díky dešti byl následně transportován do erozních rýh, kde přispíval k obnově vegetace. Tato teze bude zkoumána z několika pohledů. Nejprve budou pomocí experimentů na mobilním dešťovém simulátoru a trvale instalovaných ploch zkoumány vlastnosti vyplaveného sedimentu. Následně budou pomocí náletů dronů a modelování odtoku v počítačových programech zjišťována místa, kam by se mohl uhlík transportovat, a pomocí multispektrálních záběrů bude zkoumána vegetace v těchto místech.

V této práci bude nejprve popsána charakteristika celého území národního parku a blíže bude představena celá událost lesního požáru. Následně budou popsány teoretické základy použitých metod a měření. Tyto metody poté vysvětlí další část této práce. Nakonec budou prezentovány zjištěné výsledky a závěry z nich plynoucí.

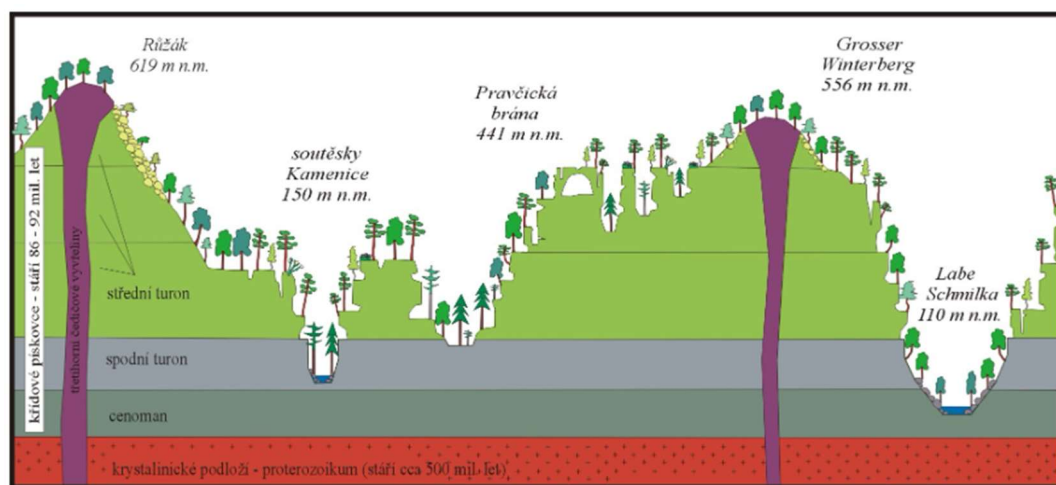
Bakalářská práce byla psána dálkově, při studiu na stáži v rámci programu Erasmus+ ve skotském městě Glasgow na University of Strathclyde. Z tohoto důvodu je práce zaměřena především na zpracování a analýzu dat. Tyto data byla změřena týmem katedry hydromeliorací a krajinného inženýrství.

2 Národní park České Švýcarsko

České Švýcarsko je jedním z aktuálně čtyř národních parků rozkládajících se na území České republiky. Hranice národního parku kopírují na severu hranice s Německem, na západě je ohraničený vesničkou Hřensko, na jihu vesnicemi Růžová a Jetřichovice a na východě městy Chřibská a Krásná Lípa. Jedná o druhý nejmladší národní park, co se týče jeho vyhlášení. Byl zřízen 1. ledna 2000.

2.1 Geologie a pedologie

Pokud se na celou oblast národního parku podíváme z geologického hlediska, zjistíme, že se na většině území nachází křídové pískovce staré 86–92 mil. let. Tyto pískovce pochází z období středního a spodního turonu, jak je vidět na obrázku 1. Ty se na toto území dostaly především díky nejprve zvýšením mořské hladiny a jejím následným snížením. Kvůli tomu se zde vytvořila vrstva pískovcových hornin o mocnosti 1000 m. Díky náchylnosti těchto pískovcových hornin k erozi se vytváří pro toto území typické skalní útvary, jako jsou například úzké a hluboké soutěsky, osamělé pískovcové sloupy a další různorodé tvary, jako je např. Pravčická brána. Vyšší vrchy, jako je např. Růžovský vrch (619 m. n. m.) a Grosser Winterberg (556 m. n. m.), mají původ sopečný z období třetihor, a jejich jádro je tudíž tvořeno třetihorními čedičovými vyvřelinami (NP České Švýcarsko [b.r.]). Většina území je ale pokryta sedimentárními horninami.



OBRÁZEK 1: GEOLOGICKÉ SLOŽENÍ NÁRODNÍHO PARKU ČESKÉ ŠVÝCARSKO (NP ČESKÉ ŠVÝCARSKO [B.R.]

Všechny tyto faktory významně ovlivnily složení půdy. Na celém území národního parku můžeme nalézt především půdy kyselé s malým množstvím živin v oligotrofní řadě s hodnotami A-AB. Kvůli pískovcovému podloží a jeho náchylnosti ke všem druhům eroze má půda relativně velký obsah písku. To velmi ovlivňuje její schopnost zachycovat vodu. Půda je velmi propustná a vyskytuje se zde i velký výpar, lze ji tedy zařadit mezi půdy suché až velmi suché V hydrické řadě bychom půdy klasifikovali jako suché a omezené. Pokud bychom měli půdu zařadit do půdních typů, bude se jednat pravděpodobně o regozemě, rankry a rendziny (Antonín Buček & Ing. Jan Lacina 1999).

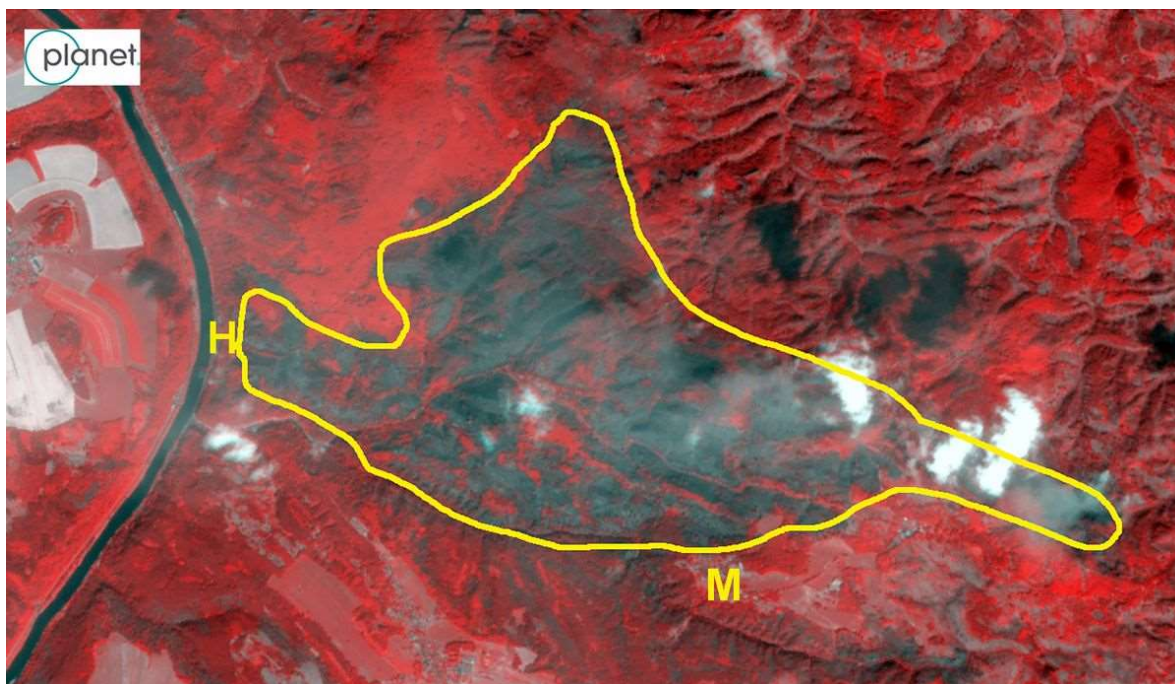
2.2 Vegetace

Z hlediska vegetace je v současnosti 97 % rozlohy národního parku pokryto lesy. Dominantním druhem této oblasti býval buk lesní (*Fagus sylvatica*) a jedná se také o původní a přirozené stromy v této lokalitě. Co se týče rozdělení území dle Zlatníka, spadá většina území do 4. vegetačního bukového stupně. V dnešním rozložení je ovšem velice početně zastoupen také smrk ztepilý (*Picea abies*) a další jehličnaté stromy, jako je borovice lesní (*Pinus sylvestris*). Tyto a jiné invazivní druhy zde byly vysázeny z důvodu velké poptávky dřeva přibližně před 200 lety. V důsledku vysázení těchto nepůvodních dřevin a jejich následného stresu způsobeného nevyhovujícími stanovišti došlo v Českém Švýcarsku ke kůrovcové kalamitě, která vy eskalovala suchy v roce 2018 (Aneta Hottmarová 2022). Od té doby se na území národního parku nachází rozsáhlé smrkové sušiny umocněné působením lýkožrouta smrkového (*Ips typographus*).

2.3 Požár

23. července 2022 zde vypukl rozsáhlý lesní požár, největší v novodobé historii Česka. Tento požár zachvátil plochu o velikosti více než 1 600 ha na české straně národního parku. Požár se šířil velice rychle vzhledem k nízké vlhkosti vzduchu, rostlin i půdy. Velice rychle vzplály oblasti smrkových sušin, a naopak přirozené bukové lesy odolávaly plamenům nejdéle. Pouhým okem se dalo po uhašení

požáru zjistit, že smrkové části lesa národního parku byly mnohem více poničeny než ty bukové. Na následujícím obrázku 2 je možné pozorovat rozsah požáru.



OBRÁZEK 2: ROZSAH POŽÁRU V ČESKÉM ŠVÝCARSKU, JEDNÁ SE O IR SATELITNÍ SNÍMEK, PÍSMENO H ZNAČÍ VESNICI HŘENSKO A PÍSMENO M VESNICI MEZNÁ (SEZNAM 2022)

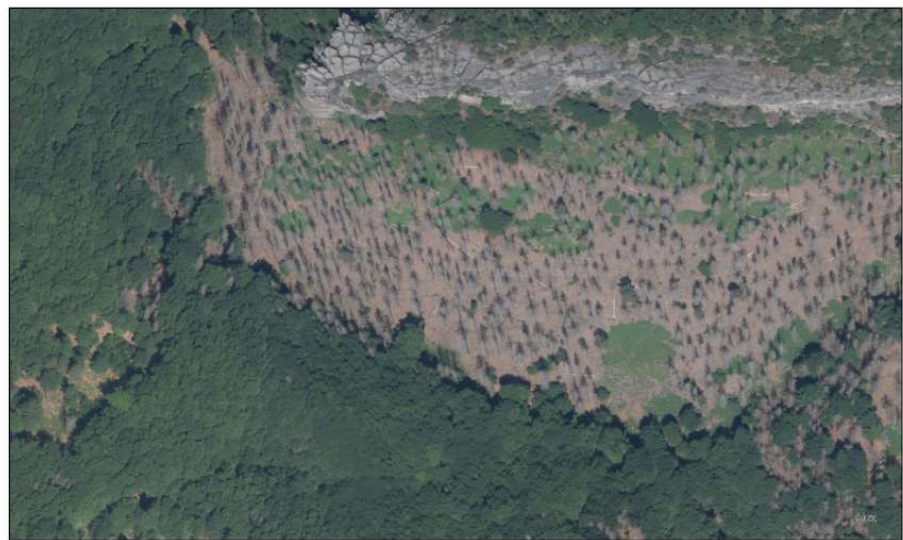
Všechny tyto skutečnosti přispěly různému šíření požáru v různých typech vegetace. Celkově bylo zasaženo celé území vyznačené na obrázku 2. I v této lokalitě některé stromy dokázaly přežít. Jednalo se ale především o zdravé listnaté stromy, které rostly ve shlucích.

Požáry nejsou v rámci Českého Švýcarska neobvyklé, nikdy však nedosáhly takovýchto rozměrů. Také zkoumání lokality s ohledem na lesní požáry není neobvyklá věc. Lokální požáry jsou v některých případech prospěšné. Na spáleništi se více daří původním druhům vegetace a příroda se tak na místě může vrátit do své původní podoby (Adámek [b.r.]).

2.4 Zkoumaná lokalita

Výzkum probíhal v lokalitě známé jako Stříbrné skály. Ta se nachází nedaleko obce Hřensko u hranic České republiky a Německa. Toto místo bylo vybráno především kvůli jeho dualitě. Jedná se o údolí, kde se na jedné straně nacházel pro toto území

přirozený bukový porost a na druhé straně blíže k samotným skalám smrkový porost. Ten byl v době požáru ve velmi špatném stavu z důvodu kůrovcové kalamity, jak je vidět na obrázku 3. Tento obrázek byl pořízen ještě před požárem. Obrázek 4 níže značí stav z 5. 12. 2022, kdy je vidět rozdíl mezi bukovou a smrkovou stranou.



Autor: Kryštof Valenta
Data: ČÚZK
Datum: 17. 5. 2023

OBRÁZEK 3: ŘEŠENÉ ÚZEMÍ NA ORTOFOTO MAPĚ ČR



OBRÁZEK 4: ŘEŠENÉ ÚZEMÍ VIDITELNĚ ROZDĚLENO ÚDOLNÍCÍ NA BUKOVÝ LES A SMRKOVÉ SPÁLENIŠTĚ

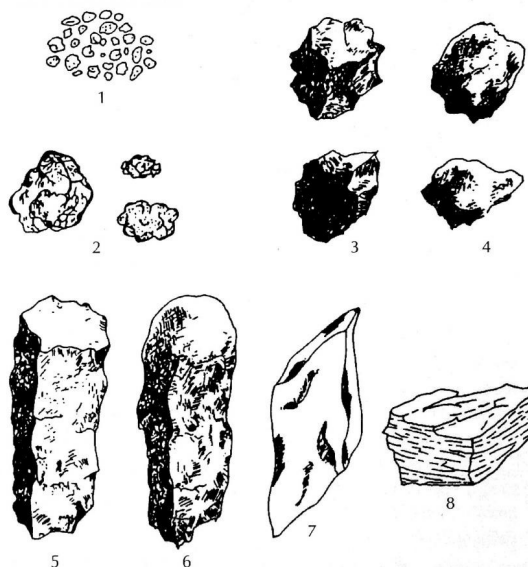
3 Teoretická část

V rámci teoretické části byly popsány jevy, se kterými se čtenář může v této práci potkat. Byly také popsány měřené půdní charakteristiky, přiblíženy používané termíny a principy, podle kterých byla půda měřena a následně vyhodnocena. Poté bude vysvětlen teoretický základ týkající se dálkového pozorování země (DPZ).

3.1 Struktura

Pokud se spojí několik zrněk půdy k sobě, je tento nový shluk nazýván agregátem. Strukturou se rozumí charakteristika půdy z hlediska agregátů. Spojujícím prvkem bývá obecně organická hmota nebo jílové částice. Dalším spojujícím prvkem mohou být také kořeny rostlin nebo například výkaly žížaly obecné (*Lumbricus terrestris*). Čím větší má půda zrnitost, tím menší je její schopnost tvořit agregáty. Agregáty dělíme podle velikosti na mikroagregáty (<0,25 mm) a makroagregáty (>0,25 mm).

Struktura ovlivňuje schopnost zadržovat vodu, propustnost vody a vzduchu a biologickou činnost. Čím má půda vyšší obsah organické hmoty, tím lepší je její strukturovanost, kterou dělíme na nestrukturní, slabě strukturní a půdy s vyvinutou strukturou.



OBRÁZEK 5: TYPY PŮDNÍCH AGREGÁTŮ (AF MENDELU 2023)

Půdu podle její struktury dělíme na půdní typy. Ty jsou čtyři: I. třída, II. třída, III. třída a IV. třída. Čím vyšší třída, tím větší agregáty půda tvoří. Co se týče obsahu organické hmoty, nejvyšší mají půdy z první třídy. Typy různých půdních agregátů je možné vidět na obrázku 5. Půdní agregáty jdoucí po sobě jsou: 1. granulární, 2. hrudkovité, 3. polyedrické, 4. zaoblená polyedrická, 5. prizmatická, 6. sloupcovitá, 7. romboedrická a 8. lamelární.

Pro výzkum zpracovaný v této bakalářské práci bylo důležitých několik vlastností půdních agregátů, zejména schopnost agregátů být stabilní ve vodě a to, že jejich vazby jsou převážně tvořeny organickou hmotou.

3.2 Textura

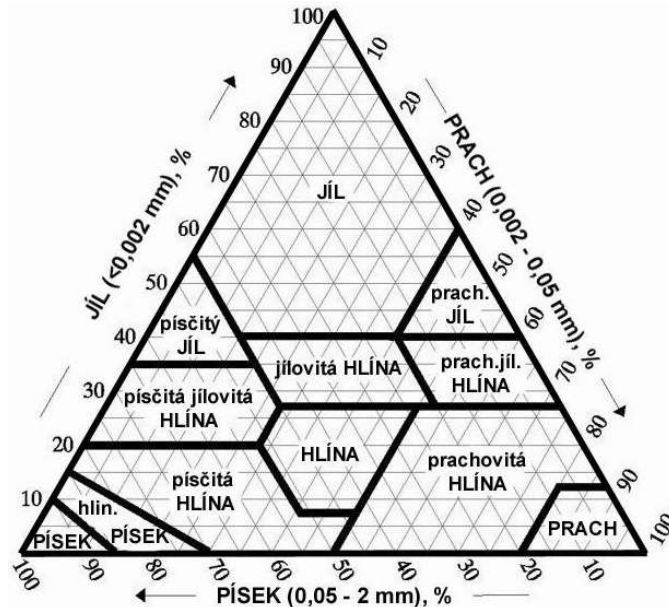
Textura neboli zrnitost označuje velikost jednotlivých zrn v půdě. Zrna se dělí podle velikosti na jíl, prach a písek. Určí se procentuální zastoupení každé z těchto frakcí a podle tabulek se následně půda zařadí. Tímto způsobem se určují půdní druhy. Tabulek, podle kterých se dá půdě přiřadit její půdní druh, je mnoho. Aktuálně nejvíce používanými rozděleními v České republice je české rozdělení dle Nováka a rozdělení podle trojúhelníkového diagramu zrnitosti půd (NRSC USDA).

První metoda dle Nováka bere v potaz pouze částice menší než 0,01 mm. Z tohoto množství se následně vypočítá procentuální zastoupení a půda je následně zařazena pomocí tabulky 1.

TABULKA 1: ZAŘAZENÍ PŮDY PODLE ZRNITOSTI DLE NOVÁKA (SNĚHOTA A ŠANDA 2021)

obsah I. kategorie < (0,01 mm) v %	pojmenování	makroskopický posudek
0 – 10	píscitá	ani za mokra se částice nespojují
10 – 20	hlinitopíscitá	částice se za mokra spojují, nelze však vyválet hádka
20 – 30	píscitohlinitá	lze vyválet hádka, snadno se rozpadá, skřípe mezi prsty
30 – 45	hlinitá	lze vyválet hádka
45 – 60	jílovitohlinitá	po stisknutí vlhké zeminy lesk, mastnost prstů
60 – 75	jílovitá	silná mastnost, lepkavost
nad 75	jíl	vysoká mastnost, lepkavost

Další metodou zařazení půdy dle zrnitosti je pomocí trojúhelníkového diagramu. Jedná se metodu amerického původu a je mezinárodně používána. Při určování půdního druhu jsou brány v potaz všechny tři frakce půdy, písek (2–0,05 mm), prach (0,05–0,002 mm) a jíl (<0,002 mm). Rozdělení je tedy přesnější a více odpovídá realitě. Diagram používaný pro určení je vidět níže na obrázku 6.



OBRÁZEK 6: TROJÚHELNÍKOVÝ DIAGRAM ZRNITOSTI (HUBOVÁ 2017)

Zrnitost také přímo ovlivňuje mnohé charakteristiky půdy z hlediska její úrodnosti, schopnosti zadržovat vodu nebo provzdušnění. Pokud se jedná o půdu písčitou, obsah jílové složky je menší než 20 %. Tato půda je sice velmi snadno obdělávatelná a vysoce provzdušněná, ale díky vysoké pórovitosti jsou tyto půdy velmi vysychavé a mají nízkou schopnost vodu zachytit. Tyto půdy jsou také chudé na humus a živiny, a to z důvodu transportu těchto organických složek protékající vodou.

Co se týče výše zmíněných vlastností půd, je ideální půdou půda hlinitá. Ta má obsah jílové složky mezi 20–45 %. Chemické, fyzikální i biologické vlastnosti jsou za předpokladu dobré struktury půdy v rovnováze. Tyto půdy jsou nejčastěji používány k zemědělské činnosti.

Druhým extrémem na druhé straně spektra jsou půdy jílovité. Tak se označují půdy s více než 45 % obsahu jílové složky. Jsou velice málo propustné jak pro vodu, tak pro vzduch. Celkově ale mají velkou vodní kapacitu. Pokud se zkombinuje velká kapacita a malá propustnost vody, dojde k velkému zamokření půdy a následné vysychání je velice zdoluhavé. Jílové částičky v důsledku zamokření také velice často bobtnají. I přes to, že jsou půdy bohaté na živiny a humus, nejsou ideální k růstu rostlin (Sněhota a Šanda 2021).

3.3 Eroze

Eroze je přirozený přírodní proces transportu částic z jednoho místa na druhé. Existuje několik druhů eroze, jako je například větrná, ledovcová nebo vodní. Dominantním typem v České republice je eroze vodní. Hybatelem je v tomto případě voda, která odnáší částice půdy při svém vlastním pohybu. Celkem můžeme erozi rozdělit na tři fáze: uvolnění, transport a depozici. V případě vodní eroze je částice uvolněna dopadem dešťových kapek, nebo v případě eroze ve vodním toku je částice uvolněna silou proudící vody, poté následuje transport a následná depozice. Ta nastává v případě, kdy se sníží transportní kapacita toku, tedy že se sníží sklon nebo zvýší drsnost (Dostál 2022).

Dešťová vodní eroze se dotýká pouze povrchu půdy. Nejvíce ohroženy jsou tedy půdy obnažené, bez vegetace a půdy s nízkou schopností infiltrace. Jak bylo zmíněno výše, pro to, aby eroze vznikla, je potřeba nejprve energie, která uvolní transportovanou částici. V případě eroze mimo vodní toky má tato energie nejčastěji původ v dešti nebo větru. V této kapitole bude nadále zmíněna pouze vodní eroze, přesněji řečeno eroze způsobená povrchovým odtokem (Dostál 2022).



OBRÁZEK 7: PLOŠNÁ EROZE (EAGRI [B.R.]

Eroze má několik stupňů. Nejslabší typ eroze nazýváme plošnou erozí. Jak je již z názvu patrné, probíhá eroze na určité ploše, v tenké vrstvě a nepřenáší se takové množství částic. Přesto je ale v některých případech viditelná. Na obrázku 7 můžeme vidět erodované světlejší části svahu, které kvůli plošné erozi přišly o část humusovité složky, která se přesunula do údolnice.

Dalším stupněm eroze je eroze rýhová. Jedná se již o vyšší stupeň eroze, který vzniká postupným soutokem menších proudů eroze plošné. Tento typ eroze je zodpovědný za 60–70 % celkové ztráty půdy. V zemědělství je již snaha tomuto typu eroze zabránit. Částice jsou přenášeny na větší vzdálenosti, odnášejí větší množství humusovité složky a v určitých případech i ztěžují pohyb techniky na pozemku. Příklad rýhové eroze je vidět na obrázku 8 níže.



OBRÁZEK 8: RÝHOVÁ EROZE NA POLI (EAGRI [B.R.]

Erozní události odnášejí vždy pouze tak velké částice, které unesou. Organická složka půdy je jednou z nejmenších. Při erozních událostech se jedná o jedny z prvních částic, které jsou vyplavovány. Na místech, kde se tyto částice uvolňují, úrodnost klesá, naopak tam, kde se živiny ukládají, se úrodnost zvyšuje.

Tento efekt transportu živin byl jedním ze zkoumaných aspektů na řešeném území v národním parku České Švýcarsko Stříbrné stěny.

3.4 Uhlík v půdě

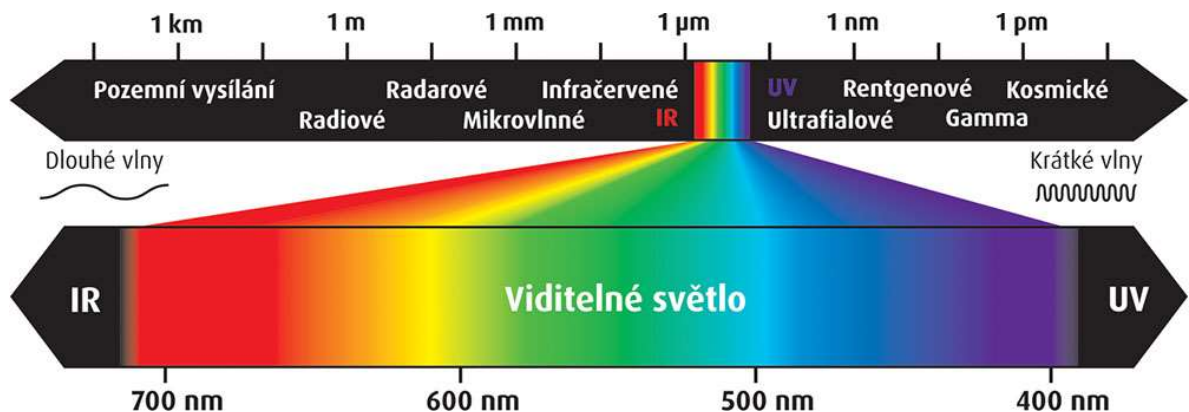
Sloučeniny uhlíku známé jako organické sloučeniny jsou nedílnou součástí půdy. Bez organické složky bychom půdu nemohli označovat půdou, jednalo by se pouze o kamenivo určité frakce. Organickou složku půdy tvoří zbytky rostlin, mikrobiálních organismů a živočichů. Tato organická složka přímo ovlivňuje úrodnost půdy, její strukturu a schopnost zadržovat vodu. Uhlík se v půdě může vyskytovat ve třech stavech. Prvním z nich je volný uhlík, ten není vázán na žádné minerály ani agregáty. Druhým typem je stabilní uhlík. Tento typ uhlíku můžeme

hledat ve specifických humusových látkách a půdních kyselinách. Posledním typem je uhlík aktivní, tento uhlík tvoří lehce rozložitelné sloučeniny. Má schopnost oxidovat a díky tomu dokáže přímo ovlivňovat obsah živin v půdě (Šarapatka 2014).

3.5 Záření

K experimentu bylo použito několik kamer zachycujících záření. Jednalo se především o RGB kamery, zachycující viditelné světlo, a laserové kamery, vyzařující infračervené (IR) a skoro infračervené záření (NIR). Z tohoto důvodu bude v následující kapitole pojednáno o různých typech záření.

Záření je všude kolem nás. Díky schopnosti odrazu od předmětů je můžeme vidět a také díky infračervenému záření, které produkuje Slunce, dopadá na Zem teplo. Záření rozdělujeme podle vlnových délek, a to zjednodušeně na viditelné světlo vlnových délek 390 nm až 790 nm a krátkovlnné a dlouhovlnné záření, viz obrázek 9. Záření různých vlnových délek mají různé vlastnosti, jiný vliv na své okolí a jsme schopní je používat za různým účelem (Štěpánek 2015).



OBRÁZEK 9: ŠKÁLA VLNOVÝCH DÉLEK (ZELENÉ A UV LASERY | MEGABLOG [B.R.]

Dále můžeme záření rozdělit na ionizující a neionizující. Toto rozdělení značí schopnost záření měnit chemické vazby prvků. Ionizující záření chemické vazby měnit dokáže a jedná se o záření kratší vlnové délky, než je viditelné spektrum. Naopak neionizující záření je menších vlnových délek a nedokáže měnit chemické vazby (IARC 2016).

3.6 Fotogrammetrie

Fotogrammetrie je technika používaná k vytváření 3D modelů, objektů nebo scén pomocí fotografií. Zahrnuje získávání informací o geometrii a struktuře objektu tak, že analyzuje vztahy mezi různými snímky. Pomocí překrývajících se snímků pořízených z více úhlů poté fotogrammetrické algoritmy mohou určit polohu, orientaci a tvar objektů. To umožňuje následně vytvářet přesné 3D modely. Čím více fotografií z různých úhlů má algoritmus k dispozici, tím je konečný model přesnější (Westoby et al. 2012).

4 Metody měření

V této kapitole budou podrobněji představeny metody, měření a technika, která byla ke zpracování práce použita.

4.1 Odběry půdních vzorků

Půdní vzorky byly odebrány z povrchu, z hloubky 5 cm a z hloubky 10 cm. Všechny vzorky byly odebrány lopatičkou jako směsné a porušené. Dne 7. 9. 2022 byly odebrány všechny půdní vzorky. Vzorky byly odebrány ze tří míst a z každého místa byly následně vzaty vzorky ze tří hloubek. Celkem bylo odebráno 9 vzorků na dvou místech na smrkové straně a na jednom místě na straně bukové.

4.2 Dešťový simulátor

V rámci výzkumu byl použit katedrový mobilní dešťový simulátor, ten byl použit pouze při první návštěvě Českého Švýcarska. Celkem byly na tomto simulátoru provedeny 4 experimenty, každý z nich s jinou intenzitou a v jiném čase. Vždy bylo pršeno simulátorem na plochy o rozměrech 1 x 1 metr. Intenzita deště byla u většiny experimentů nastavena na 60 mm/h. Některé části experimentů však probíhaly při vyšších intenzitách 80 nebo 85 mm/h. Na obrázku 10 můžete vidět přípravy na spuštění dešťového simulátoru.



OBRÁZEK 10: PŘÍPRAVA NA SPUŠTĚNÍ DEŠŤOVÉHO SIMULÁTORU (K143 2022)

4.3 Trvale instalované plochy

V rámci dlouhodobého pozorování byly nainstalovány dvě trvale pozorované plochy – jedna na bukové a druhá na smrkové straně. Obě plochy jsou instalované ve sklonu. Pozorované plochy mají rozměr 1 x 1 metr. Dešťová voda dopadající na pozorovanou plochu je následně svedena trychtýřem do sběrného barelu. Celé zařízení je vidět na obrázku 11. Původním záměrem bylo odebírat vzorky při každé návštěvě zkoumaného místa. Stávalo se však, že barel byl převrácen, nebo v barelu nebyl dostatek sedimentu. Z tohoto důvodu, byl počet měření přirozeného smyvu omezen.



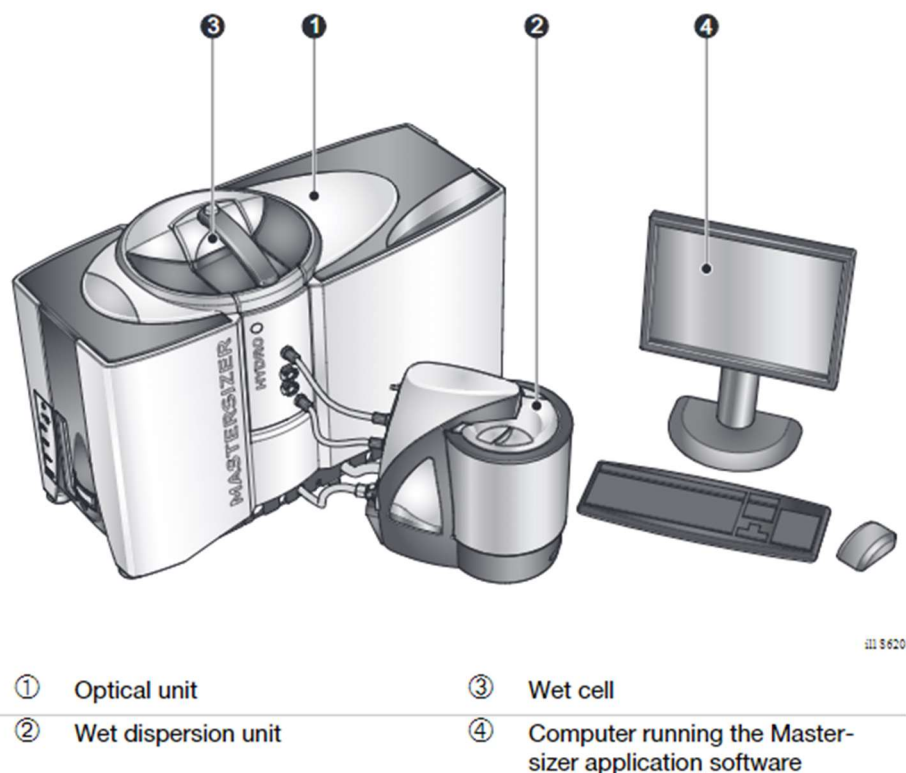
OBRÁZEK 11: TRVALE INSTALOVANÁ PLOCHA NA SMRKOVÉM SPÁLENIŠTI

4.4 Laboratorní měření

Všechny odebrané půdní vzorky, vzorky z dešťového simulátoru a trvale instalovaných ploch byly analyzovány. Pokud bylo potřeba, byl nejprve odfiltrován sediment. Všechny vzorky byly následně vysušeny při teplotě 40 °C v peci. Takto připravené vzorky byly připravené na měření zrnitosti a TOC.

4.4.1 Mastersizer 3000

Nástrojem pro měření zrnitosti vzorků byl přístroj s názvem Mastersizer 3000 od firmy Malvern Instruments. Jedná se o přístroj fungující na principu laserového difraktometru. Ten se skládá z optické jednotky, jednotky pro mokrou disperzi, mokré buňky a počítače (Instruments 2013). Schematické zapojení je vidět na obrázku 12.



OBRÁZEK 12: SCHEMATICKÉ ZAPOJENÍ LASEROVÉHO DIFRAKTOMETRU MALVERN 3000 (INSTRUMENTS 2013)

Postup měření byl následující. Vzorek bylo nutné nejprve namočit a vytvořit pastě podobnou konsistenci. Ta byla vytvořena tak, že byla část vzorku nasypána do malé kádinky, následně bylo přidáno malé množství vody. Za stálého míchání vzorku byla voda přidávána, dokud vzorek neměl vyhovující konsistenci. Poté byl vzorek vložen do „Wet dispersion unit“ (jednotka pro mokrou disperzi) a mohlo začít měření. Každý vzorek byl měřen celkem 25krát. Prvních pět měření vzorek pouze projížděl celým měřicím procesem za činnosti vrtule nacházející se na dně jednotky pro mokrou disperzi. Po pěti měřeních byl zapnut ultrazvuk. Ten měl za

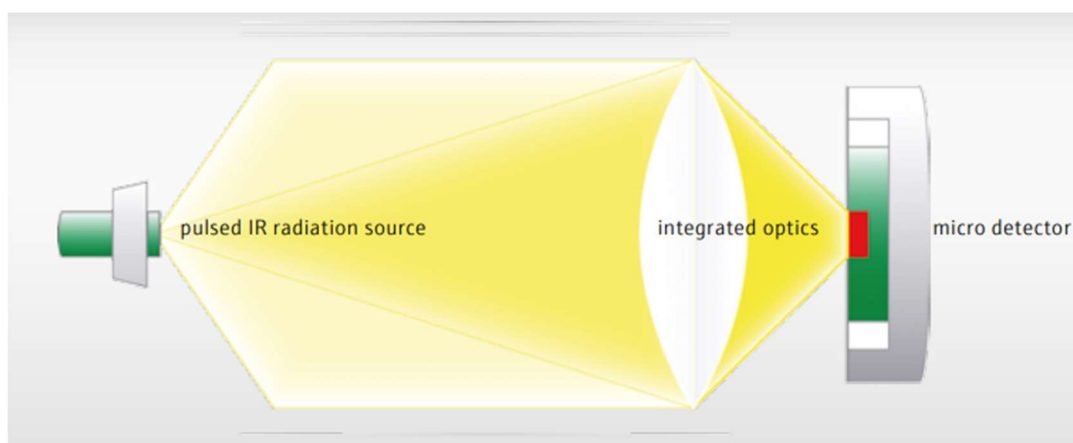
úkol rozdrtit zbylé půdní agregáty. Tento ultrazvuk byl zapnut po dobu přibližně patnácti dalších měření. Po dokončení všech dvaceti pěti měření bylo měření vzorku ukončeno. Jako poslední krok bylo nutné přístroj vyčistit a znovu dopustit vodou. K měření byla používána deionizovaná voda.

Výsledky byly následně vidět v softwaru Mastersizer 3000 verze 3.36. Z tohoto programu byla data následně přesunuta do programu MS Excel, kde byly provedeny zbývající analýzy.

Z celkem dvaceti pěti měření bylo použito pouze prvních pět a posledních pět. Prvních pět bylo bráno jako zrnitostní složení i s půdními agregáty (označení před rozbitím) a posledních pět již jako klasická zrnitost (označení po rozbití). Ostatní měření nebyla použita.

4.4.2 Analytik Jena – TOC Analyser

Ke změřením TOC byl použit TOC Analyser od firmy Analytik Jena. Tento přístroj pálí vzorky při teplotách mezi 900–1200 °C (Sněhota 2021). Ze vzorku se při těchto teplotách vypálí všechna organická hmota. Ta je přeměněna na oxid uhličitý a ten přístroj následně, pomocí infračerveného záření, změří (Jena [b.r.]). Schéma měřicího čidla je vidět na obrázku 13.



OBRÁZEK 13: SCHEMATICKÉ ZOBRAZENÍ PRINCIPU MĚŘENÍ TOC (JENA [B.R.])

Vzorky na měření TOC vyžadovaly další přípravu. Půdní vzorky bylo potřeba dát do nehořlavých, sterilních, křemenných lodiček. Ty bylo nejprve nutné zvážít

samotné a poté se vzorkem. Následně bylo do vzorku přidáno pár kapiček kyseliny chlorovodíkové tak, aby byl celý vzorek kyselinou zvlhčen. Následně bylo možné vzorek vložit do přístroje, který, po zadání hmotnosti vzorku s lodičkou, spustil měření. Následně se na počítači připojeném k přístroji zobrazil výsledek.

Každý odebraný vzorek smyvu nebo půdy byl měřen celkem třikrát, aby se předešlo chybovosti měření. Na obrázku 14 můžete vidět průběh měření.



OBRAZEK 14: KŘEMENNÁ LODIČKA V PECI PŘI MĚŘENÍ TOC

4.5 Dálkové pozorování země (DPZ)

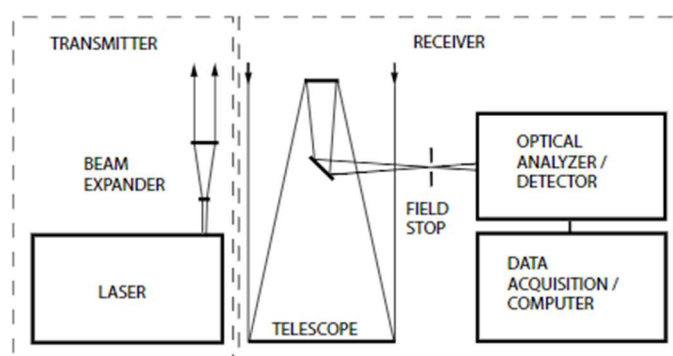
V rámci provádění první části výzkumu byly použity záběry získané z dronů. Nálety byly provedeny pomocí dronů s Lidarovými, multispektrálními a RGB kamerami. Tyto se uskutečnily v celkem třech různých dnech. Tyto nálety byly provedeny ve větší intenzitě na začátku září, konkrétně v datech 7. 9. 2022 a 15. 7. 2022. Poslední nálet byl proveden s větším odstupem, a to 5. 12. 2022. Všechny tyto nálety byly následně zanalyzovány v programech CloudCompare, Agisoft a ArcGIS Pro. Byly vytvořeny rastrové soubory DEM (Digital Elevation Model). Na těchto modelech

byly následně provedeny analýzy odtoku, který byly porovnány s odpovídajícími ortofoto nálety. Další ortofoto nálety byly zaznamenány pomocí multispektrální kamery. Ty byly analyzovány pomocí metody NDVI. Z porovnání těchto různých mapových podkladů byla snaha odvodit korelaci mezi odtokem spálených živin, především uhlíku, a rychlostí obnovy vegetace.

K získání dat bylo použito dvou UAV, a to přesně menšího dronu DJI M300 a většího DJI Matrice 300 RTK (Laburda et al. 2022).

4.5.1 LiDAR

Jedná se o jednu z technologií aktivního dálkového průzkumu. Hlavní částí LiDARu je laserový vysílač a přijímač. Kromě tohoto zařízení je LiDAR složen také z GPS (Global Positioning System) přijímače, IMU (Inercial Measurement Unit) a počítače. Schematicky je znázorněno na obrázku 15. LiDAR funguje na principu odrazu laserového paprsku, který je vyslán na zájmový objekt a poté přijímán zpět. Zaznamenáván je čas od doby, kdy je laser vyslán, do doby, kdy je přijat. Pomocí GPS přijímače jsou k času pohybu laserového paprsku přidána data souřadnic značící místo, kde se LiDAR nachází. Pomocí těchto dat je vypočítána vzdálenost zaměřeného od LiDARu. IMU následně zadává taková data, která upravují rovnici o pohybu lidarového zařízení, především o jeho náklony podél tří hlavních os: x, y, z (Wandinger 2005).



OBRÁZEK 15: SCHEMATICKE ZNÁZORNĚNÍ LASEROVÉHO VYSÍLAČE A PŘIJÍMAČE

Výstup z lidarového měření je mračno bodů, ze kterého se následně v analytických programech dá vytvořit DMZ (Dálkový model země), a na něm

provádět další analytické výpočty a může sloužit jako základ nebo jedna z vrstev v různých modelech (Liu 2008). Přesně k tomuto účelu byla tato technologie použita v tomto případě.

4.5.2 Multispektrální kamera

Tato kamera dokáže snímat objekty a povrchy i ve spektrech, která jsou lidskému oku neviditelná. Multispektrální kamera je pokročilé zobrazovací zařízení, které snímá obraz v několika specifických vlnových délkách nebo spektrálních pásmech. Na rozdíl od tradiční RGB kamery, která snímá obraz ve viditelném červeném, zeleném a modrém pásmu, může multispektrální kamera snímat obraz v různých pásmech mimo viditelné spektrum, například v ultrafialovém (UV) nebo infračerveném (IR) pásmu (Micasense [b.r.]

Její hlavní výhodou je právě to, že dokáže zachytit informace, které jsou pro lidské oko neviditelné. Díky detekci a záznamu dat z různých spektrálních pásem může poskytnout cenné informace a odhalit detaily, které nejsou na standardních snímcích RGB snadno patrné. Níže na obrázku 16 vidíme multispektrální kameru přichycenou na dron DJI Matrice 300 RTK.



OBRÁZEK 16: MULTISPEKTRÁLNÍ KAMERA PŘIPNUTÁ NA DRON DJI MATRICE 300 RTK

Tato speciální kamera má uplatnění převážně v zemědělství, monitorování životního prostředí a dálkovém průzkumu především proto, že dokáže detekovat znečišťující látky, analyzovat vegetaci a identifikovat typy půdního pokryvu, pomáhá analyzovat velké plochy půdy a může shromažďovat údaje o ekosystémech a sledovat změny v čase (Navin & Agilandeewari 2020).

Konstrukce multispektrální kamery zahrnuje použití několika filtrů nebo senzorů, z nichž každý je citlivý na určité spektrální pásmo. Tyto senzory zachycují světlo v určených pásmech, která se kombinují a vytvářejí komplexní multispektrální obraz. Multispektrální kamery nám umožňují odhalovat skryté vzory na základě komplexních a podrobných informací (Micasense [b. r.]).

4.5.3 RGB kamera

RGB kamera je druh kamery, který zachycuje barevné snímky pomocí snímače, který detekuje červené, zelené a modré světlo. Kamera se skládá z milionů pixelů uspořádaných do pole snímačů. Každý pixel má filtr, který propouští pouze červené, zelené nebo modré světlo. Snímač měří intenzitu světla dopadajícího na každý pixel a generuje číselné hodnoty představující jas každého barevného kanálu. Zachycené červené, zelené a modré kanály se kombinují prostřednictvím procesu zvaného demosaicing nebo interpolace. Tato technika přiřazuje barvy k pixelům odhadem chybějících barevných informací na základě sousedních pixelů, čímž vzniká plnobarevný obraz s vysokým rozlišením (Minz a Saini 2021).



OBRÁZEK 17: RGB KAMERA PŘIPEVNĚNÁ K UAV DJI MATRICE 300 RTK

V rámci tohoto výzkumu byly výstupy z RGB kamer použity k vytvoření modelu terénu pomocí fotogrammetrie a k porovnání změn v území v čase. Níže na obrázku 17 můžeme vidět RGB kameru připojenou na dron DJI Matrice 300 RTK.

4.6 Zpracování dat z UAV

V této podkapitole budou popsány procesy a programy použité k analýze dat získaných z náletů UAV.

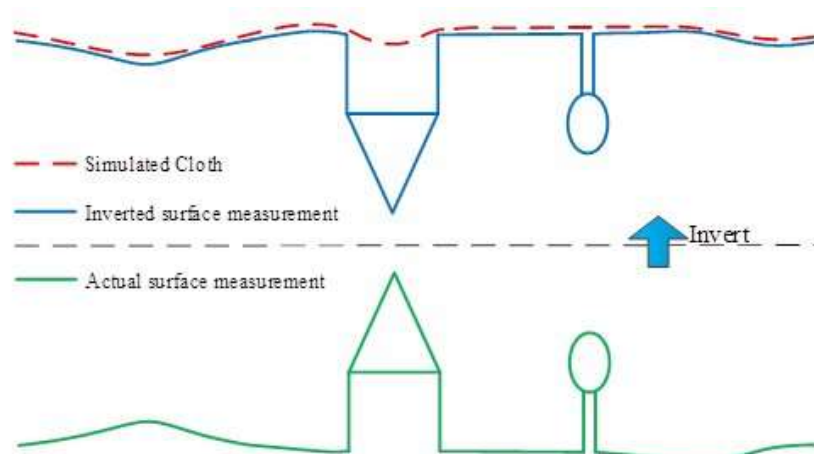
4.6.1 Agisoft

Jedná se o software určený k vytváření modelů terénu pomocí fotogrammetrie. Použita byla verze Agisoft Metashape Professional 1.7.5. Nejprve bylo potřeba do programu nahrát fotografie pořízené z náletů. Program následně určil jejich polohu, natočení a úhel pod jakým byly vyfocené. Po tomto kroku bylo možné přistoupit k samotné fotogrammetrii. Nejprve je vytvořeno mračno bodů. To je použito jako základní vrstva. Dále si již uživatel může vybrat, jaký výstup chce.

V našem případě bylo exportováno buď mračno bodů, nebo DEM (digital elevation model). Tyto exportované podklady byly následně upraveny v programu CloudCompare.

4.6.2 CloudCompare

CloudCompare je volně dostupný software od samostatného programátora. Použitou verzí programu byl CloudCompare v2.12.4. Tento program je obecně používán pro úpravu mračen bodů. K tomuto byl použit i v tomto případě. Hlavní použitou funkcí v tomto programu byl CSF plugin, známý též jako Cloth simulation filtr. Název by se dal přeložit do češtiny jako látkový simulační filtr. Ten slouží k odstranění vegetace a budov na modelu terénu (CSF (Plugin) – CloudCompareWiki 2016). Schematicky je jeho fungování možné vidět na obrázku 18.



OBRÁZEK 18: SCHEMATICKÉ VYSVĚTLENÍ FUKNČNOSTI CSF (CSF (PLUGIN) – CLOUDCOMPAREWIKI 2016)

Plugin model otočí a po nastavení vlastností plátna přiloží toto plátno na otočený model terénu. Z tohoto nasimulovaného plátna je poté vytvořeno nové mračno bodů, tentokrát již bez vegetace a budov. Tato vrstva byla použita k další analýze v ArcGIS Pro.

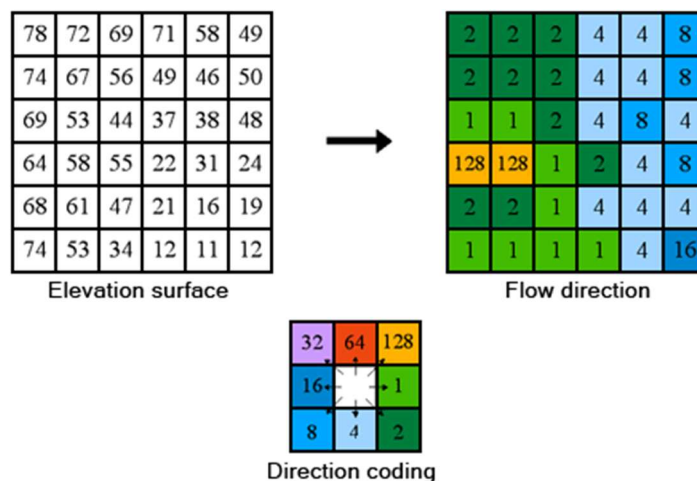
Použití tohoto pluginu bylo nutné, neboť analýzu odtoku je potřeba provádět na modelu terénu, který je bez překážek, a také proto, že model s budovami a vegetací by měl vysokou chybovost simulace odtoku.

4.6.3 ArcGIS PRO

Poslední analýzy a finální úprava podkladů byly provedeny v programu ArcGIS Pro verze 3.1.1. V následujících odstavcích budou blíže popsány jednotlivé použité nástroje.

Flow Direction

Tento nástroj dokáže z modelu terénu určit, jakým směrem bude odtékat voda z určitého místa. Existuje několik metod určení směru odtoku, v tomto případě byla použita metoda D8. Ta je pojmenována jednoduše podle toho, že z každého pixelu modelu terénu vypočítá směr odtoku do jednoho z osmi směrů. Nástroj funguje tak, že pro každý pixel porovná všechny okolní hodnoty a podle toho, v jakém směru je hodnota převýšení nejnižší, takovou hodnotu pixelu přiřadí (ESRI 2023b). Schematický průběh výpočtu je možné vidět na obrázku 19.

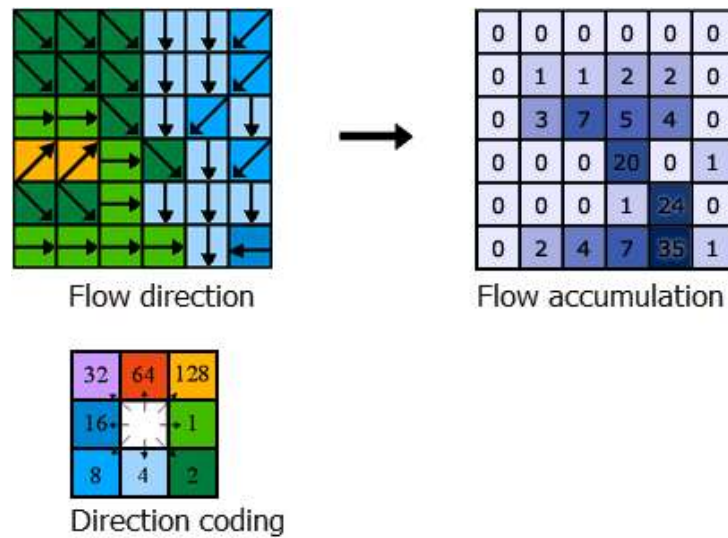


OBRÁZEK 19: SCHEMATICKÉ ZNÁZORNĚNÍ NÁSTROJE FLOW DIRECTION (ESRI 2023D)

Flow Accumulation

Nástroj Flow Accumulation přímo navazuje na výstup z předchozího nástroje. Vrstva z nástroje Flow Direction je jedním ze vstupů. Tento nástroj vezme každý pixel a spočítá, kolik pixelů kolem něj do něj směřuje. To zjistí podle jeho hodnoty vypočítané v nástroji Flow Direction. Hodnoty se sčítají, tudíž konečná hodnota pixelu v závěrovém profilu se rovná počtu pixelů na daném modelu. Tento postup je schematicky vidět na obrázku 20. Hodnoty vypočítané tímto nástrojem tedy

nemohou sloužit k určení velikosti odtoku, můžeme ale díky němu určit místa, kde se bude soustředit povrchový odtok (ESRI 2023a).



OBRÁZEK 20: SCHEMATICKÉ ZOBRAZENÍ NÁSTROJE FLOW ACCUMULATION(ESRI 2023C)

NDVI

Hodnota NDVI určuje stupeň ozelenění povrchu. Nabývá hodnot od -1 do 1 a čím je hodnota vyšší, tím vyšší je šance, že se na místě nachází hustý zelený porost. Hodnota NDVI se vypočítá pomocí následujícího jednoduchého vzorce, který je vidět na obrázku 21.

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

OBRÁZEK 21: VZOREC PRO VÝPOČET NDVI (GISGEOGRAPHY 2019)

K jeho výpočtu potřebujeme několik vrstev naskenovaného terénu, přesněji dvě. První z nich je vrstva odrazu NIR (Near-Infrared Radiation), v češtině skoro-infračervené záření, a druhou poté červené záření. Zdravá vegetace, přesněji řečeno chlorofyl v ní, odráží více skoro-infračerveného záření, ale o to méně červeného záření. U méně zelených rostlin, méně chlorofylu, je tomu právě naopak. Voda nebo urbanizované plochy odráží ještě méně skoro-infračerveného záření. Proto se jejich hodnoty pohybují v mínusu nebo kolem nuly.

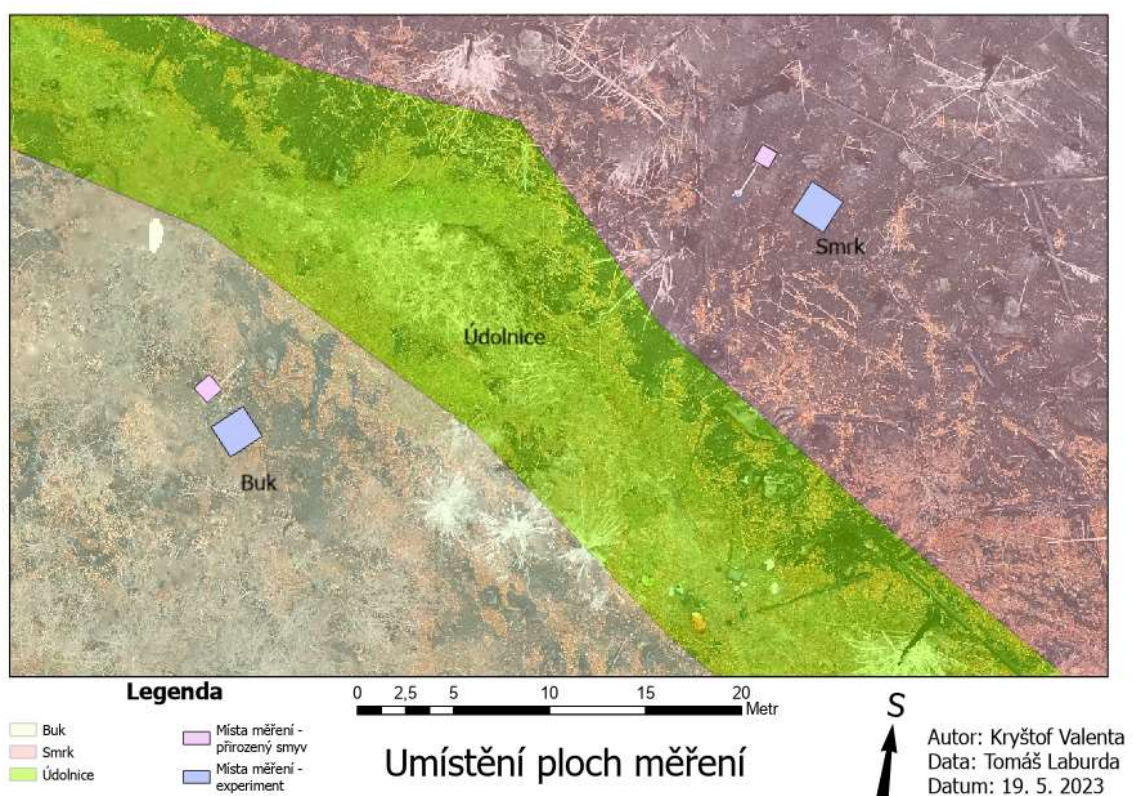
5 Výsledky

V této kapitole jsou popsány výsledky zjištěné při vypracování této bakalářské práce. Výsledky porovnávají stav a následný vývoj půdy a vegetace v oblasti Stříbrných skal. Jsou hledány rozdíly mezi těmito sublokalitami, zejména co se týče vegetačního pokryvu, zrnitosti a celkového obsahu uhlíku v půdě.

Řešena jsou také data získaná z UAV. Na nich je porovnáván vývoj erozních rýh v čase, změny vegetačního pokryvu zjištěné pomocí metody NDVI a porovnány metody získání modelů terénu.

5.1 Charakteristiky půdy a erozního smyvu

Nejprve jdou prezentovány výsledky půdních charakteristik zjištěných ze vzorků odebraných přímo na místě, dešťového simulátoru a trvale instalovaných ploch na zkoumání přirozeného smyvu. Na obrázku 22 můžete vidět umístění ploch, ze kterých byly vzorky odebírány.



OBRÁZEK 22: UMÍSTĚNÍ PLOCH MĚŘENÍ

5.1.1 Půdní charakteristiky

V tabulkách s výsledky jsou použita označení, která by mohla čtenáře zmást, budou proto vysvětlena. Označení $D_x (10) (\mu\text{m})$ atd. značí, že 10 % všech částic ve vzorku má nejvýše takovou hodnotu, jaká je uvedena v tabulce. Stejně tomu tak je i u dalšího značení $D_x (50) (\mu\text{m})$ a $D_x (90) (\mu\text{m})$.

V potaz bylo bráno prvních a posledních 5 měření. Z těchto dvou skupin měření je vypočítán průměr a tato data jsou použita jako výstupní. Z prvních 5 měření je možné získat představu o tom, jak velké půdní agregáty se ve vzorcích nachází. Naopak z posledních 5 měření je určena zrnitost. Ve všech případech je také určena směrodatná odchylka značená v tabulkách jako $1x\text{Std Dev}$. Dále je také vypočítána relativní směrodatná odchylka. Ta určuje přesnost dat a je vypočítána jako poměr mezi průměrem a směrodatnou odchylkou. Touto metodou jsou zpracovány všechny vzorky, na kterých je měřena zrnitost. Výsledky v tabulkové formě je možné vidět níže v tabulkách 2, 3 a 4.

TABULKA 2: TABULKA PŮDNÍCH ZRNITOSTÍ VZORKŮ Z ODBĚRNÉHO MÍSTA SMRK 1

SMRK č.1. - TOP					SMRK č.1. - 5 cm					SMRK č.1. - 10 cm					
Číslo vzorku	Dx (10) (µm)	Dx (50) (µm)	Dx (90) (µm)	Číslo vzorku	Dx (10) (µm)	Dx (50) (µm)	Dx (90) (µm)	Číslo vzorku	Dx (10) (µm)	Dx (50) (µm)	Dx (90) (µm)	Číslo vzorku	Dx (10) (µm)	Dx (50) (µm)	Dx (90) (µm)
1	77,8	542	1520	1	52,2	345	995	1	20,7	258	730	2	19,9	247	791
2	72,7	503	1580	2	53,9	363	1430	2	17,3	214	532	3	16,9	207	532
3	68	482	1330	3	55,1	379	1570	4	17,7	222	577	5	18,5	229,6	632,4
4	84,3	576	1730	4	53,7	363	1250	Mean	1240,6	354,4	1240,6	Mean	18,5	229,6	632,4
5	69,2	498	1500	5	49	322	958	1xStd Dev	266,8	21,7	21,9	1xStd Dev	1,7	21,9	120,3
Mean	74,4	520,2	1532,0	Mean	52,8	354,4	1240,6	1RSD (%)	21,5	6,1	9,1	Mean	9,1	9,5	19,0
1xStd Dev	6,7	38,2	144,5	1xStd Dev	2,4	21,7	266,8								
1RSD (%)	9,0	7,3	9,4	1RSD (%)	4,5	6,1	21,5								
Po rozbití															
21	11,1	77,6	682	21	20,8	114	676	21	13,6	212	593	21	13,6	212	593
22	10,6	72,1	625	22	20,3	110	657	22	12,9	202	543	22	12,9	202	543
23	12,1	88	1170	23	20,1	108	719	23	13	204	581	23	13	204	581
24	11,2	77,1	852	24	19,6	104	641	24	13,8	219	640	24	13,8	219	640
25	11,1	76	766	25	19,9	105	663	25	12,5	194	551	25	12,5	194	551
Mean	11,2	78,2	819,0	Mean	20,1	108,2	671,2	Mean	13,2	206,2	581,6	Mean	13,2	206,2	581,6
1xStd Dev	0,5	5,9	214,2	1xStd Dev	0,5	4,0	29,5	1xStd Dev	0,5	9,6	38,6	1xStd Dev	0,5	9,6	38,6
1RSD (%)	4,9	7,6	26,2	1RSD (%)	2,2	3,7	4,4	1RSD (%)	4,0	4,7	6,6	1RSD (%)	4,0	4,7	6,6

TABULKA 3: TABULKA PŮDNÍCH ZRNITOSTÍ VZORKŮ Z ODBĚRNÉHO MÍSTA SMRK 2

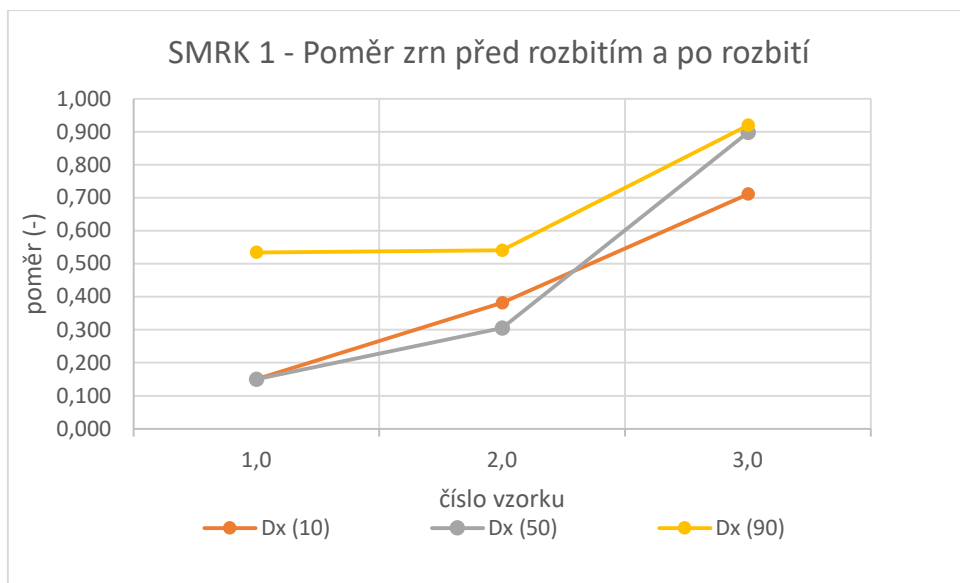
SMRK č.2. - TOP						SMRK č.2. - 5 cm						SMRK č.2. - 10 cm					
Číslo vzorku	Dx (10) (μm)	Dx (50) (μm)	Dx (90) (μm)	Číslo vzorku	Dx (10) (μm)	Dx (50) (μm)	Dx (90) (μm)	Číslo vzorku	Dx (10) (μm)	Dx (50) (μm)	Dx (90) (μm)	Číslo vzorku	Dx (10) (μm)	Dx (50) (μm)	Dx (90) (μm)		
1	62,9	429	1340	1	25,5	230	1230	1	7,15	57,1	421	2	7,36	63,7	548		
2	68,3	511	1670	2	25,9	231	1010	2	7,16	57,9	503	3	6,97	53,2	432		
3	69	503	1660	3	24	203	772	3	6,97	53,3	426	4	7,1	57,0	466,0		
4	68,2	488	1660	4	23,8	199	739	4	0,2	4,3	56,7	5	2,3	7,5	12,2		
5	61,4	412	1460	5	26	238	1240	5	24,1	16,3	3,1	Mean	16,3	3,1	5,7		
Mean	66,0	468,6	1558,0	Mean	25,0	220,2	998,2	Mean	7,1	57,0	466,0	1xStd Dev	0,1	1,3	20,9		
1xStd Dev	3,5	45,1	150,4	1xStd Dev	1,1	17,9	240,2	1xStd Dev	0,1	1,3	20,9	1RSD (%)	1,4	3,1	5,7		
1RSD (%)	5,4	9,6	9,7	1RSD (%)	4,2	8,1	24,1	1RSD (%)	2,3	7,5	12,2	Po rozbití					
21	30,6	114	810	21	14,2	72,9	462	21	5,81	44	385	22	5,75	43,1	368		
22	31,6	126	1100	22	14,6	77	615	22	5,7	42,2	348	23	5,71	42,3	351		
23	32,3	134	1210	23	14,2	73,3	492	23	5,89	45,4	396	24	5,8	43,4	369,6		
24	33	143	1360	24	14,1	72,2	422	24	78,9	16,3	3,1	1xStd Dev	0,1	1,3	20,9		
25	31,5	124	1030	25	13,9	71	426	25	1,8	1,4	1,4	1RSD (%)	1,4	3,1	5,7		
Mean	31,8	128,2	1102,0	Mean	14,2	73,3	483,4	Mean	5,8	43,4	369,6	Po rozbití					
1xStd Dev	0,9	10,9	205,4	1xStd Dev	0,3	2,3	78,9	1xStd Dev	0,1	1,3	20,9	Po rozbití					
1RSD (%)	2,8	8,5	18,6	1RSD (%)	1,8	3,1	16,3	1RSD (%)	1,4	3,1	5,7	Po rozbití					

TABULKA 4: TABULKA PŮDNÍCH ZRNITOSTÍ VZORKŮ Z ODBĚRNÉHO MÍSTA BUK

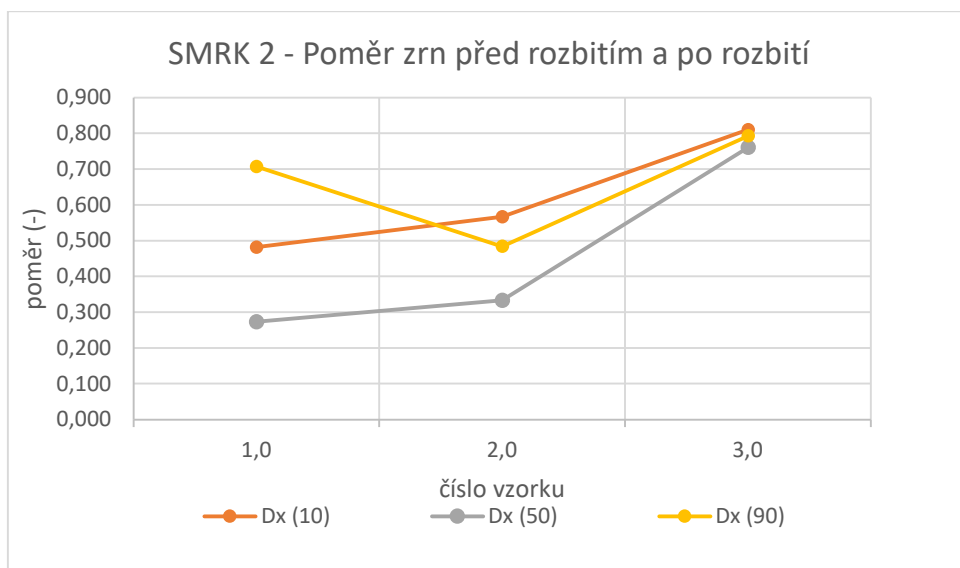
BUK - TOP					BUK - 5 cm					BUK - 10 cm					
Číslo vzorku	Dx (10) (μm)	Dx (50) (μm)	Dx (90) (μm)	Číslo vzorku	Dx (10) (μm)	Dx (50) (μm)	Dx (90) (μm)	Číslo vzorku	Dx (10) (μm)	Dx (50) (μm)	Dx (90) (μm)	Číslo vzorku	Dx (10) (μm)	Dx (50) (μm)	Dx (90) (μm)
1	51,4	406	1390	1	43,3	278	829	1	18,8	224	628	1	18,8	224	628
2	50,2	409	1520	2	41,8	270	762	2	17,1	206	529	2	17,1	206	529
3	46,8	359	1090	3	41,4	271	758	3	17	204	490	3	17	204	490
4	52,1	425	1490	4	42,7	276	786	4	17,7	211	592	4	17,7	211	592
5	50,2	403	1550	5	39,3	258	713	5	17	208	577	5	17	208	577
Mean	50,1	400,4	1408,0	Mean	41,7	270,6	769,6	Mean	17,5	210,6	563,2	Mean	17,5	210,6	563,2
1xStd Dev	2,0	24,7	187,7	1xStd Dev	1,5	7,8	42,4	1xStd Dev	0,8	7,9	54,2	1xStd Dev	0,8	7,9	54,2
1RSD (%)	4,1	6,2	13,3	1RSD (%)	3,7	2,9	5,5	1RSD (%)	4,4	3,8	9,6	1RSD (%)	4,4	3,8	9,6
Po rozbití															
21	11,7	82,2	512	21	14,1	87,7	500	21	15,4	214	578	21	15,4	214	578
22	11,6	81,6	474	22	14,1	87,1	511	22	13,6	196	484	22	13,6	196	484
23	12,1	85,4	561	23	13,4	81,6	451	23	13,8	198	560	23	13,8	198	560
24	12,6	88,5	679	24	13,9	85,5	511	24	13,9	200	539	24	13,9	200	539
25	11,8	83	493	25	14,1	87,5	485	25	14,5	205	525	25	14,5	205	525
Mean	12,0	84,1	543,8	Mean	13,9	85,9	491,6	Mean	14,2	202,6	537,2	Mean	14,2	202,6	537,2
1xStd Dev	0,4	2,8	82,2	1xStd Dev	0,3	2,5	25,1	1xStd Dev	0,7	7,2	35,9	1xStd Dev	0,7	7,2	35,9
1RSD (%)	3,4	3,4	15,1	1RSD (%)	2,2	3,0	5,1	1RSD (%)	5,1	3,6	6,7	1RSD (%)	5,1	3,6	6,7

Z dat je patrné, že půda na obou stranách údolí není nikterak výrazně rozdílná. Největší zrnitost pozorujeme na povrchu a čím se dostáváme hlouběji, tím více zrnitost klesá.

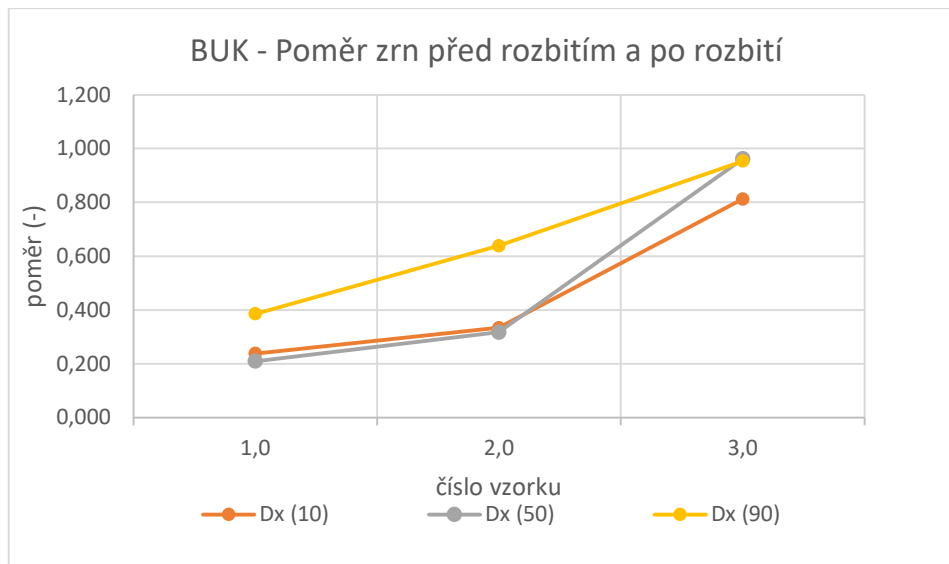
Vypočítán byl i následný poměr zrn a agregátů. U všech půdních vzorků můžeme pozorovat stoupající trend anorganických zrn s hloubkou. Pouze u vzorků ze stanoviště SMRK 2 je možné pozorovat vysoký poměr anorganických zrn u Dx (90) i na povrchu. Výsledky jsou viditelné na obrázcích 23, 24 a 25.



OBRÁZEK 23: POMĚR ZRN PŘED ROZBITÍM A PO ROZBITÍ, SMRK 1



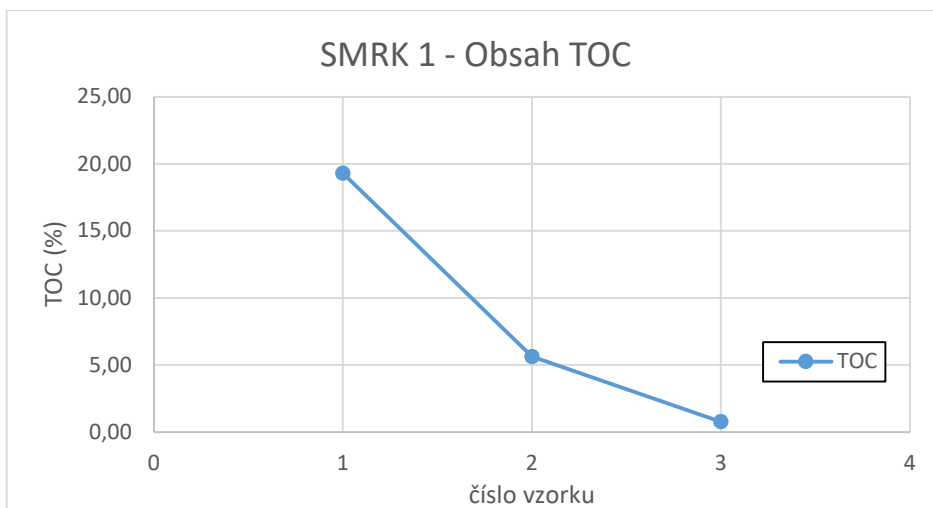
OBRÁZEK 24: POMĚR ZRN PŘED ROZBITÍM A PO ROZBITÍ, SMRK 2



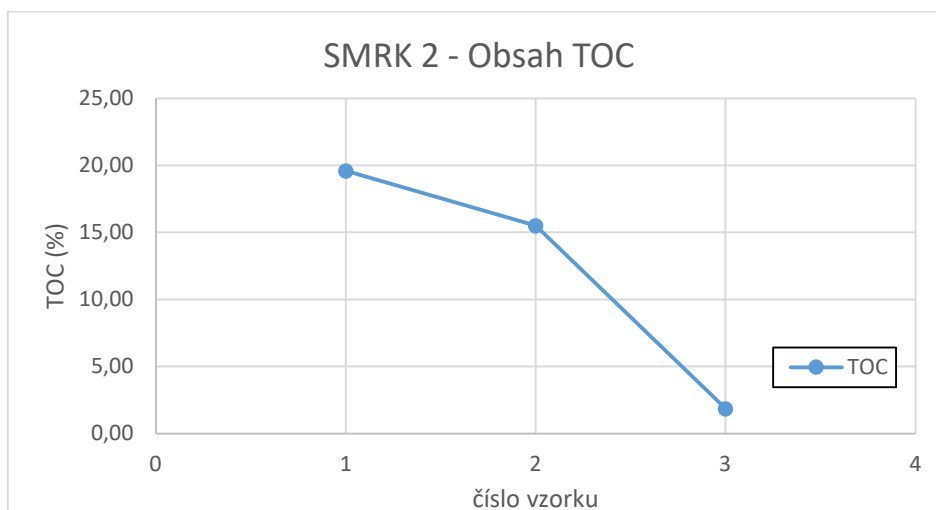
OBRÁZEK 25: POMĚR ZRN PŘED ROZBITÍM A PO ROZBITÍ, BUK

Pro všechny vzorky byla změřena také TOC. U všech odběrných míst pozorujeme relativně stejný průběh. S klesající hloubkou obsah TOC v půdě klesá. I hodnoty můžeme považovat za stejné. U svrchní části hodnoty TOC byly naměřeny hodnoty 19,3 %, 19,6 %, 20,6 % u stanovišť SMRK 1, SMRK 2, resp. BUK. V hloubce 5 cm pak můžeme pozorovat změnu u vzorku SMRK 2, kdy byla hodnota TOC naměřena 15,5 %. Na rozdíl od zbylých dvou stanovišť, kde byly naměřeny hodnoty 5,6 % a 6,5 %. V hloubce 10 cm již TOC nabývá u všech stanovišť podobných hodnot. Tyto hodnoty se blíží nule, a to 0,77 % u vzorku z odběrného stanoviště SMRK 1, vzorek ze stanoviště SMRK 2 pak vykázal hodnotu 1,8 % a vzorek z odběrného místa BUK dokonce 0,27 %.

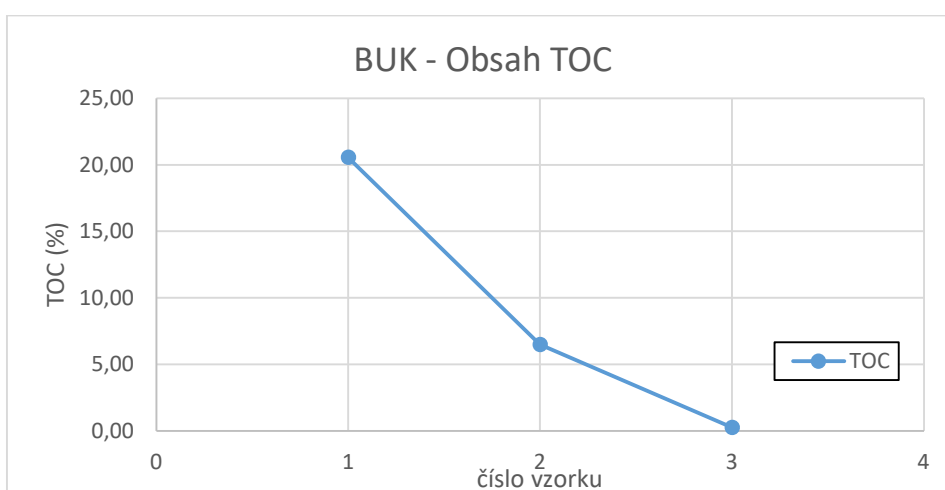
Všechny výše popsané skutečnosti můžeme pozorovat v grafech na obrázcích 26, 27 a 28. V grafech jsou vzorky seřazeny od nejsvrchnějšího po nejhlubší a podle toho jim bylo také přiřazeno číslo vzorku.



OBRÁZEK 26: VÝVOJ TOC S HLOUBKOU, SMRK 1



OBRÁZEK 27: VÝVOJ TOC S HLOUBKOU, SMRK 2



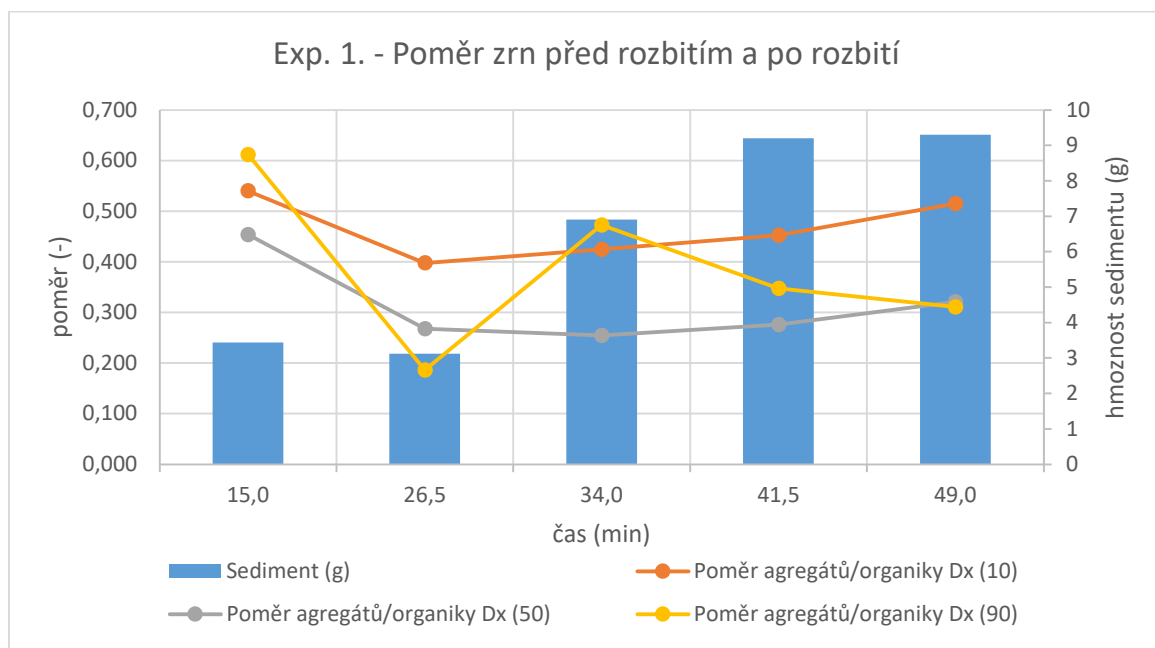
OBRÁZEK 28: VÝVOJ TOC S HLOUBKOU, BUK

5.1.2 Experimentální dešťový simulátor

Pro zlepšení orientace v zobrazených grafech je nastavena jednotná mezera na ose x mezi odebranými vzorky. Časový údaj označující dobu odebrání vzorku v minutách je napsán pod příslušným bodem v grafu.

V grafech je vidět několik hodnot. Zprvce to jsou hodnoty poměru zrn před rozbitím a po rozbití agregátů. Tato hodnota značí procentuální zastoupení čistých anorganických zrn ve vzorku. Ty jsou vyneseny na hlavní ose y. Pokud bychom tuto hodnotu odečetli od čísla 1 a vynásobili 100, dostaneme procentuální zastoupení agregátů ve vzorku. Zadruhé je v grafech také zaneseno množství sedimentu v g, a to na vedlejší ose y.

Z prvního experimentu bylo odebráno nejméně vzorků, pouze 5. Nejprve bylo na měřenou plochu pršeno intenzitou 60 mm/h. Ta byla následně zvýšena na 85 mm/h kvůli nepozorovanému povrchovému odtoku při nižší intenzitě. První dva vzorky jsou považovány za pozadí z důvodu nedostatečné nasycenosti půdy. Výsledky ve formě grafu jsou vidět na obrázku 29.

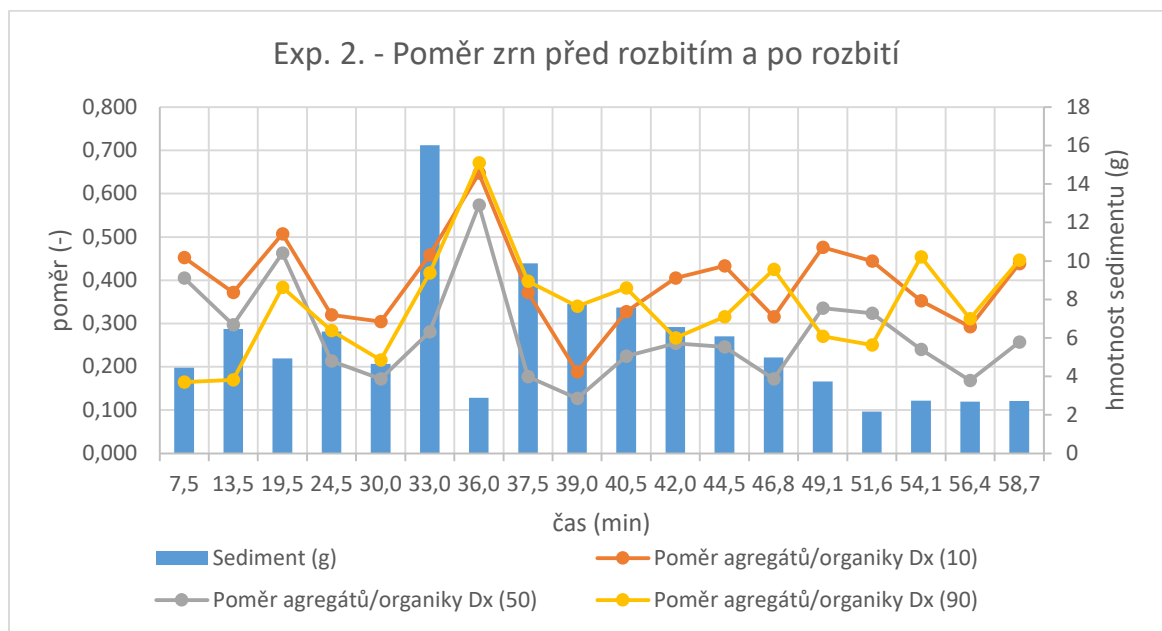


OBRÁZEK 29: POMĚR ZRN PŘED ROZBITÍM A PO ROZBITÍ AGREGÁTŮ, EXPERIMENT 1

Na výsledcích prvního experimentu můžeme pozorovat změnu v intenzitě deště. Obzvláště viditelné je zvýšení odplaveného sedimentu. Pokud se podíváme na čáry označující poměr zrn před rozbitím a po rozbití, můžeme vidět, že se vyplavovalo méně organické složky, která spojuje samotná zrna do agregátů, a více se vyplavovaly částice anorganické. Z toho vyplývá, že můžeme tvrdit, že s postupujícím deštěm se vyplavuje více organické složky.

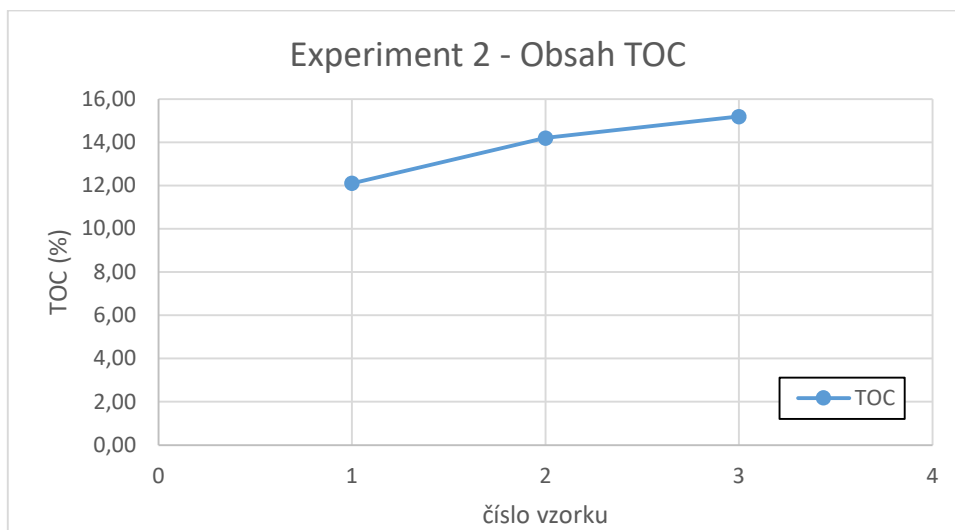
TOC bylo kvůli malému množství sedimentu získaného z prvního pokusu provedeno pouze na jednom vzorku. Procentuální zastoupení TOC je změřeno u tohoto vzorku jako 11,62 %.

Druhý experiment byl ze všech nejdelší. Nejprve se přšlo znovu intenzitou 60 mm/h po dobu 32 minut, v tu dobu bylo odebráno pět vzorků. Poté byla intenzita zvýšena na 80 mm/h a byly odebrány dva vzorky. Všechny doposud odebrané vzorky jsou brány jako pozadí. Následovaly další vzorky v rozmezí 25 minut s intenzitou deště 80 mm/h. Množství odplavených anorganických zrn nemá vzhledem k trvání výraznější trend. Obsah anorganických zrn se pohybuje v průměru vůči celkovému zastoupení ve všech měřených skupinách mezi 30 a 40 %. Výsledky je možné vidět na obrázku 30.



OBRÁZEK 30: POMĚR ZRN PŘED ROZBITÍM A PO ROZBITÍ AGREGÁTŮ, EXPERIMENT 2

U měření TOC byly znovu kvůli malé hmotnosti sedimentu a velké časové náročnosti vybrány tři vzorky. Vzorky jsou seřazeny podle časové kontinuity. Zde můžeme pozorovat postupné zvyšování TOC ve vzorcích odebraných později v simulované srážkové epizodě. Samotné hodnoty TOC jsou naměřeny postupně jako 12,1 %, 14,2 % a 15,2 %. Pokud bychom měli zprůměrovat naměřené hodnoty TOC u těchto vzorků, dostaneme 13,84 %. Výsledky jsou vidět na obrázku 31 níže.

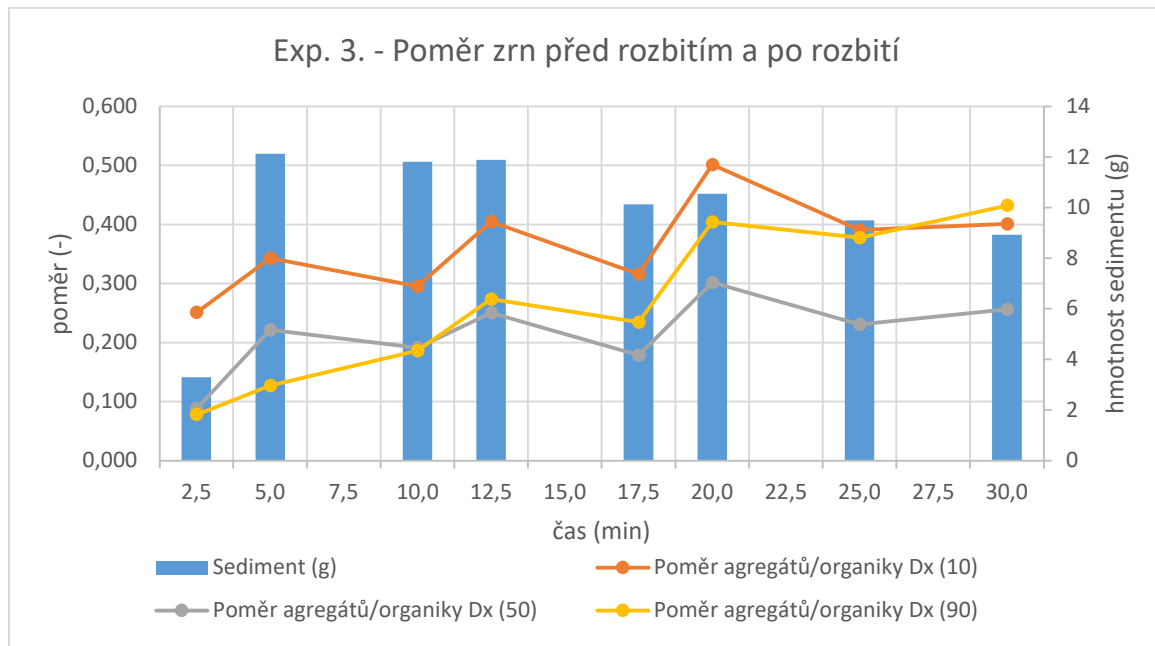


OBRÁZEK 31: OBSAH TOC, EXPERIMENT 2

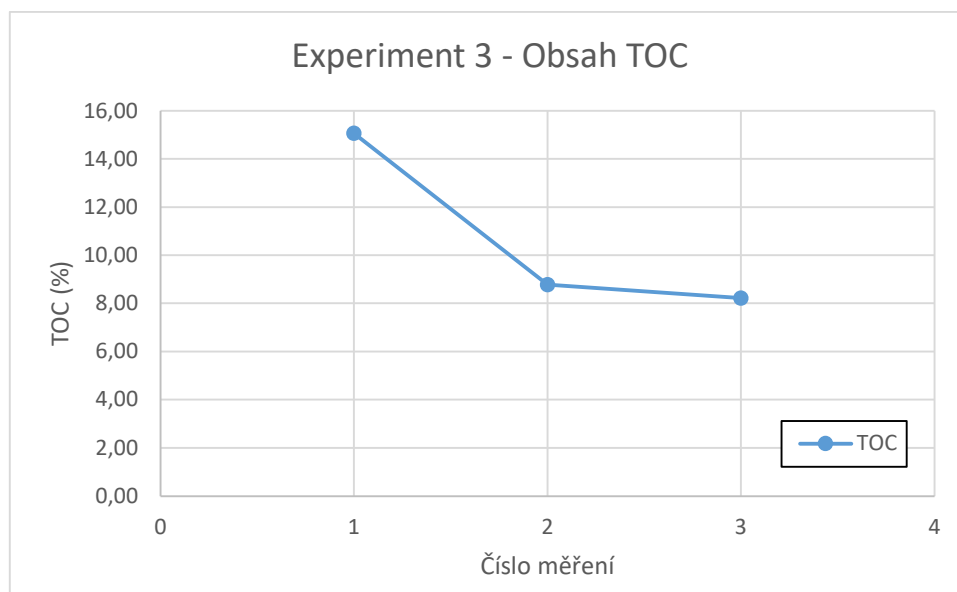
Experiment číslo 3 byl proveden na smrkové straně s neměnnou intenzitou deště 60 mm/h po dobu 30 minut. Vzorky byly odebírány pravidelně po 2,5 minutě. Některé odebrané vzorky nebyly měřeny, protože hmotnost sedimentu nebyla k provedení analýz dostačující. Proto jsou vidět v grafu na obrázku 32 níže vynechaná místa. Z hlediska zrnitostního složení a poměru zrn k agregátům pozorujeme opačný trend než u prvního a druhého experimentu. Množství sedimentu, s výjimkou prvního měření, se snižuje a poměr zrn k agregátům stoupá. Nejvíce organické hmoty se tedy vyplavovalo na začátku experimentu a postupně množství klesalo.

Tento trend potvrdilo i měření TOC. Na prvním vzorku je naměřena hodnota 15,1 % a u druhého a třetího vzorku jsou naměřeny hodnoty 8,8 %, respektive 8,2 %. Obsah organické hmoty v odplavených vzorcích se tedy postupně snižoval, jak

je možné pozorovat na obrázku 33. Průměrná hodnota TOC je spočítána na 10,69 %.



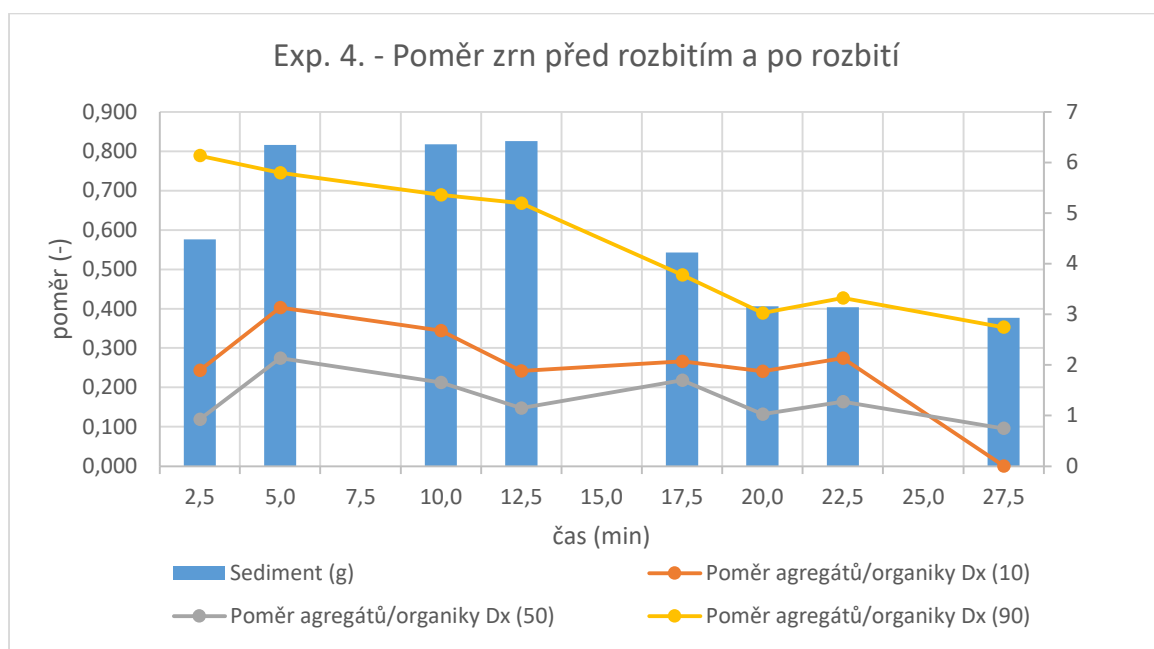
OBRÁZEK 32: POMĚR ZRN PŘED ROZBITÍM A PO ROZBITÍ AGREGÁTŮ, EXPERIMENT 3



OBRÁZEK 33: OBSAH TOC, EXPERIMENT 3

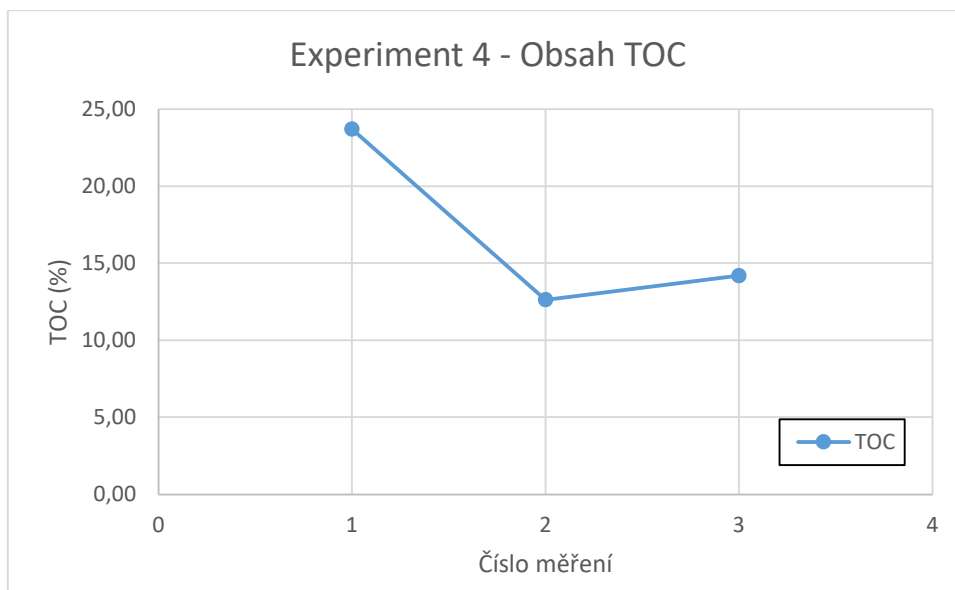
Poslední experiment provedený na zkoumaném místě byl experiment 4. Ten byl stejně jako předchozí experiment prováděn s neměnnou intenzitou 60 mm/h a také po dobu 30 minut. I v tomto případě byly vzorky odebírány

pravidelně po 2,5 minutě a také některé vzorky nebylo možné měřit z důvodu nízké hmotnosti sedimentu. Tento experiment se ale prováděl na bukové straně údolí. Změny ve výsledcích jsou znatelné, jak je možné pozorovat na obrázku 34. Sediment se totiž začal ve velkém množství odplavovat již od začátku. Hmotnost sedimentu stoupala přibližně do poloviny experimentu, kdy začala klesat. Zajímavý je rozdíl mezi poměry jednotlivých měřených skupin. Skupiny Dx (50) a Dx (10) mají přibližně podobný průběh a v rámci srážkové epizody jejich průměrná hodnota nevykazuje příliš výrazný trend. Toto můžeme obzvláště pozorovat u skupiny Dx (50). Trend skupiny Dx (10) změnila poslední měřená hodnota, kdy se obsah agregátů přibližuje 100 %. Skupina Dx (90) ukazuje naopak jasný klesající trend u obsahu anorganických zrn.



OBRÁZEK 34: POMĚR ZRN PŘED ROZBITÍM A POROZBITÍ, EXPERIMENT 4

Co se týče obsahu TOC, jsou hodnoty naměřené ve vzorcích z tohoto experimentu výrazně vyšší. Prvotní hodnota obsahu TOC je naměřena jako 23,7 %. Následné hodnoty jsou již nižší, ale stále se blíží nejvyšším hodnotám z předchozích experimentů. Následné hodnoty TOC jsou naměřeny jako 12,6 % a 14,2 %. Průměrná hodnota TOC je vypočítána jako 16,84 %. Výsledky zobrazené v grafu jsou vidět níže na obrázku 35.



OBRÁZEK 35: OBSAH TOC, EXPERIMENT 4

Pokud porovnáme zrnitostní charakteristiky a TOC půdních vzorků a získaných vzorků z experimentů můžeme získat představu o tom, jaké frakce se nejvíce z půdy vyplavovaly a o kolik TOC půda přišla v důsledku srážkové epizody. Průměrná hodnota TOC v půdě na povrchu je z měření vypočítána na hodnotu 19,82 %. Pokud se podíváme na průměrnou hodnotu TOC experimentů, je v porovnání s průměrnou hodnotou TOC povrchu půdy během experimentu odplavena z povrchu půdy procentuálně více než polovina TOC. Toto zjištění potvrzuje teoretický předpoklad, že ve smyvu se nachází relativně velké množství živin, tedy TOC. Rozdíl mezi stráněmi je relativně výrazný. Na smrkové straně poměr mezi TOC půdy a TOC smyvu není větší než 60 %. Zato na bukové straně dosahuje na začátku experimentu k hodnotě 100 % a jeho průměrné hodnoty dosahují 80 %.

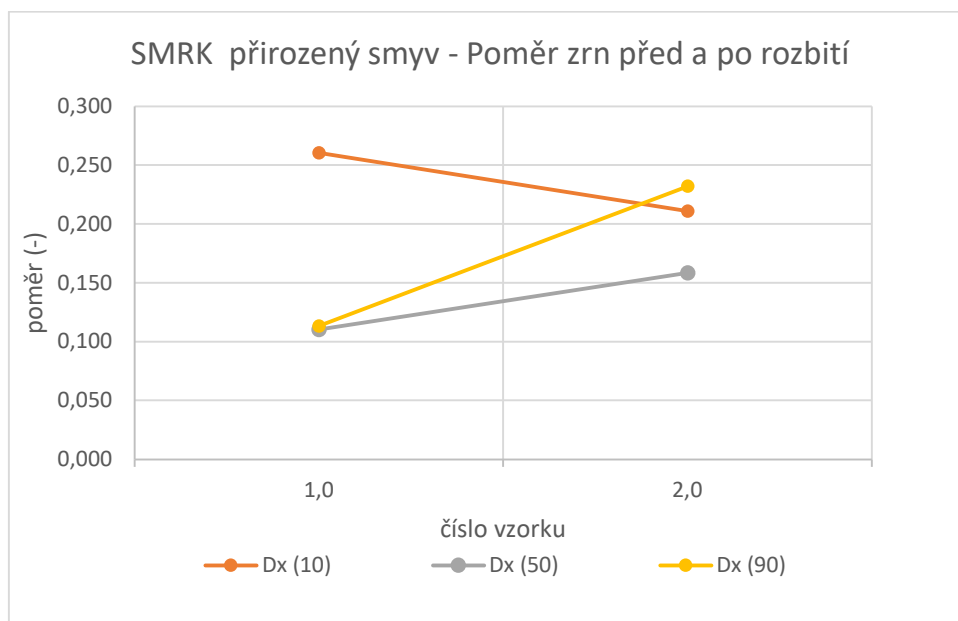
Z hlediska zrnitostního porovnání nepozorujeme u vzorků odebraných ze stanoviště BUK výrazný rozdíl mezi zrnitostním složením půdy a odplaveného sedimentu. U stanoviště SMRK pozorujeme více jevů. U experimentu 1 můžeme tvrdit, že se zrnitostní složení sedimentu zmenšuje. Experiment 2 neukazuje výrazný trend a experiment 3 ukazuje jasný pozvolný trend zmenšování zrnitostního složení.

Celkově můžeme tvrdit, že sediment z bukové straně nabývá větších hodnot TOC než sediment na smrkové straně. Obě hodnoty jsou ale velmi vysoké. Zrnitostní složení sedimentu vůči zrnitostnímu složení půdy je v polovině případů neměnné a v druhé polovině stabilně klesá.

5.1.3 Přirozený smyv

Výsledky zrnitostních charakteristik jsou zkráceny velmi malým množstvím sedimentu. V poměrech zrnitostních grafů není sediment pro jeho zanedbatelnou hmotnost vynášen. Sedimentu bylo odebráno ze smrkové strany více než z bukové. Důvod může spočívat v chybějícím vegetačním krytu na smrkové straně. Měření jsou pouze dva vzorky, a to jeden z 15. 9. 2022 a druhý z 20. 9. 2022. Snaha sbírat vzorky byla i v jiných datech, avšak sběrný barel byl buď převržen, nebo nebyl dostatek sedimentu k provedení analýz. Srážky na celé lokalitě byly měřeny, ale nejsou k dispozici.

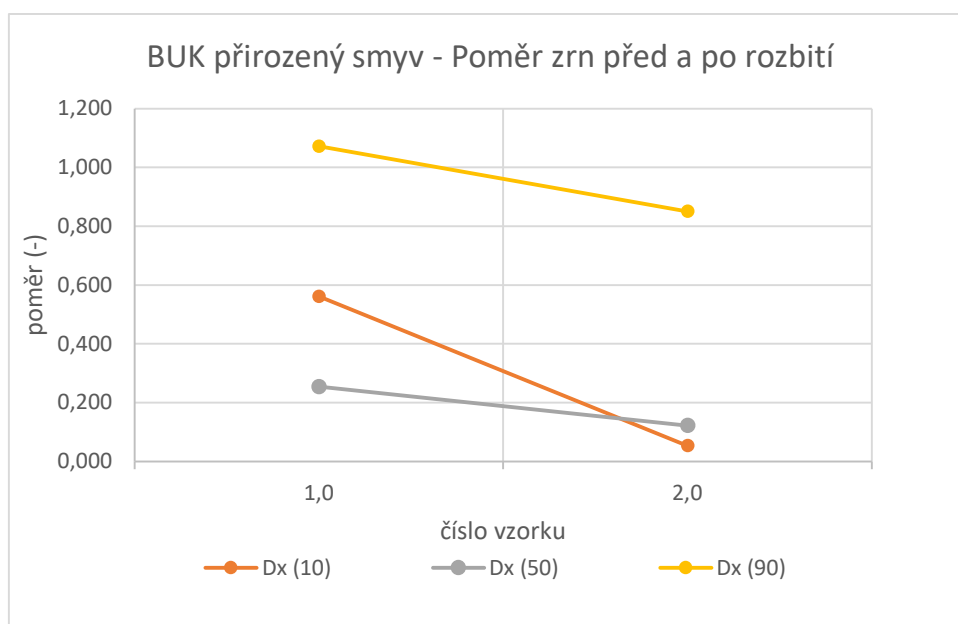
Zrnitostní poměr u přirozeného smyvu na smrkové straně nevykazuje určitý trend. Celkově se zrnitostní poměr pohybuje v malých hodnotách a značí tak velké množství agregátů a tím pádem i organické složky. Výsledky v grafové formě je možné vidět na obrázku 36.



OBRÁZEK 36: POMĚR ZRN PŘED ROZBITÍM A PO ROZBITÍ, PŘIROZENÝ SMYV – SMRK

Předpoklad, že díky malému poměru zrn k agregátům, se nachází ve vzorcích velký obsah organické složky, byl následným měřením TOC potvrzen. U prvního vzorku sedimentu byla naměřena hodnota 23,6 %. Měření u druhého vzorku bylo provedeno pouze jednou z důvodu malé hmotnosti sedimentu. Naměřená hodnota byla 28,8 %.

Měření prvního vzorku přirozeného smyvu na bukové straně vykazuje chybu. Poměr zrn Dx (90) před rozbitím a po rozbití říká, že po rozbití jsou naměřeny větší částice. Toto není možné a chyba je pravděpodobně způsobena malým množstvím sedimentu, který byl do přístroje vložen. Druhé měření již můžeme považovat za správné. Rozdíl mezi oběma stanovišti na měření přirozeného smyvu je ve vyšších hodnotách poměru u Dx (90). Hodnoty ostatních poměrů vychází výrazně nižší a více se přibližují hodnotám ze smrkové strany. To je možné vidět v grafu na obrázku 37.



OBRÁZEK 37: POMĚR ZRN PŘED ROZBITÍM A PO ROZBITÍ, PŘIROZENÝ SMYV BUK

Hodnoty TOC neodpovídají vysokým hodnotám poměru zrnitosti k agregátům. Hodnoty TOC ukazují dokonce vyšší procento obsahu TOC než u smrkové strany. U prvního vzorku je změřena hodnota 31,0 %, v druhém měření hodnota 42,4 %. I zde však došlo k chybě v měření, a to vinou zhotovitele této

práce, který se z nepozornosti vzorku dotkl rukou, a výsledky byly tudíž zkompromitovány. Z důvodu nedostatku sedimentu nebylo možné opakovat měření podruhé.

Z těchto měření vidíme, že je sice zrnitostní složení sedimentu z přirozeného smyvu na bukové straně vyšší, ale přesto je obsah TOC vyšší. Jak bylo již dříve zmíněno, zrnitostní složení a obsah TOC na povrchu byly na obou stranách stejné. Odůvodnění toho, proč v přirozeném smyvu na bukové straně nacházíme vyšší obsah TOC než na straně smrkové, by mohlo být v intenzitě požáru a celkově toho, že na smrkové straně živá vegetace prakticky nezbyla, zatímco bukový les požáru odolal mnohem lépe.

5.2 Výsledky dat získaných pomocí UAV

V této podkapitole budou podrobněji prezentovány výsledky získané pomocí UAV. Tím bude porovnání ortofoto snímků za účelem zjištění chování erozních rýh, porovnání modelu země získaného pomocí LiDARu a model vytvořeného pomocí fotogrammetrie a výstupy NDVI.

5.2.1 Erozní rýhy

Nejprve jsou vizuálně porovnány ortofoto snímky pořízené ze třech náletů. Je na nich zkoumáno umístění viditelných erozních rýh. Identifikování těchto rýh slouží jako podklad pro ověření vymodelovaných odtoků na modelu terénu. Oproti předpokladu ale erozní rýhy mizely. Postupným srovnáváním ortofoto snímků bylo dosaženo závěru, že erozní rýhy nejspíše nemají přirozený původ. V rozmezí jednoho týdne je již viditelná změna. Pokud porovnáme první a třetí nálet, zjistíme, že v průběhu tří měsíců erozní projevy v podobě rýh prakticky zmizely. Níže na obrázcích 38, 39 a 40 je možné tuto změnu pozorovat.



Erozní rýhy příp. 1. - 7. 9. 2022

Autor: Kryštof Valenta
Data: Tomáš Laburda
Datum: 17. 5. 2023

OBRÁZEK 38: EROZNÍ RÝHY 7. 9. 2022



Erozní rýhy příp. 1. - 15. 9. 2022



Autor: Kryštof Valenta
Data: Tomáš Laburda
Datum: 17. 5. 2023

OBRÁZEK 39: EROZNÍ RÝHY 15. 9. 2022



Erozní rýhy příp. 1. - 5. 12. 2022



Autor: Kryštof Valenta
Data: Tomáš Laburda
Datum: 17. 5. 2023

OBRÁZEK 40: EROZNÍ RÝHY 5. 12. 2022

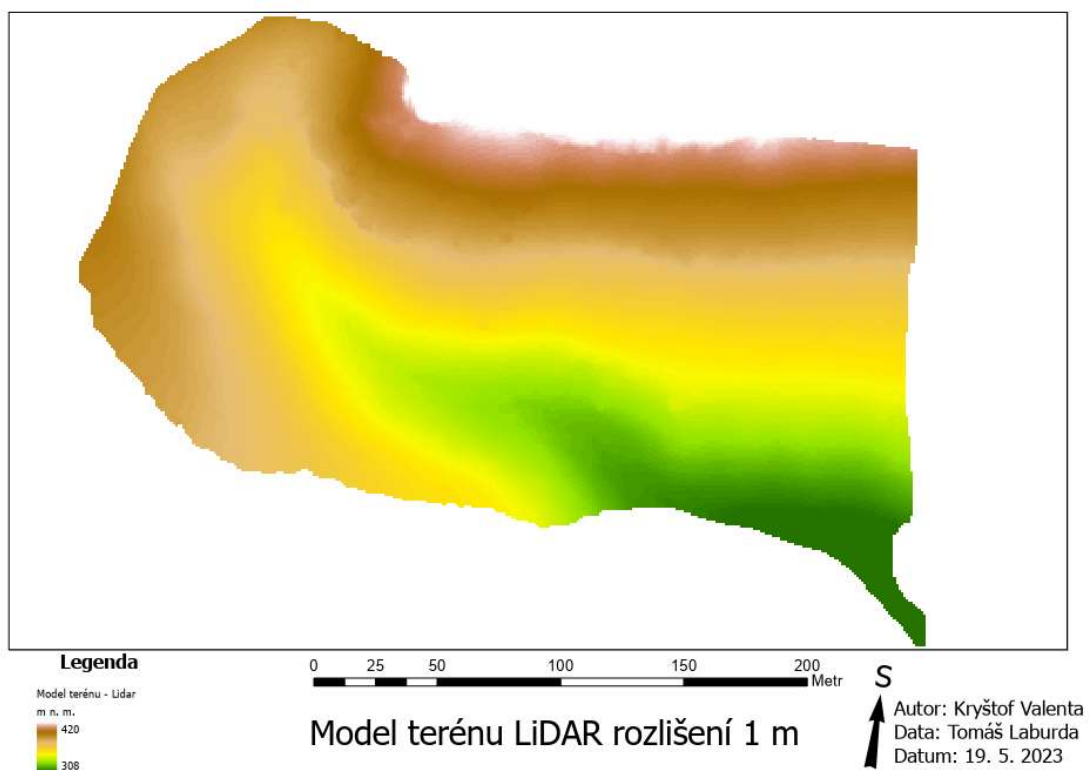
Tento jev nebyl pouze lokálního charakteru. Porovnána byla také další místa se stejným výsledkem. Jedná se o velmi zajímavý jev, který ale nebyl dále v této bakalářské práci zkoumán. Předpoklad, proč se tak může dít, je, že se postupně snižuje erozní aktivita, anebo erozní rýhy nebyly vytvořené přirozeným odtokem.

5.2.2 Porovnání metod DPZ

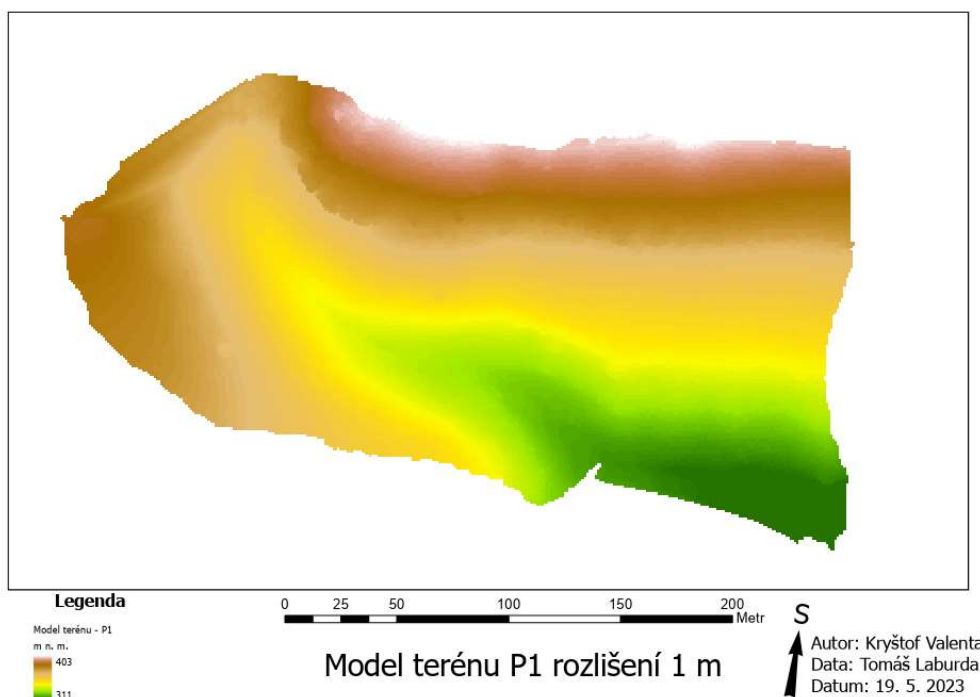
V rámci analýz bylo nutné vytvořit model terénu. Ten je vytvořen ze dvou vstupních dat. Prvními daty je výstup z náletu pomocí technologie LiDAR a druhými jsou již výše zmíněné ortofoto snímky. Z lidarového náletu vyšel model terénu. Z ortofoto snímků byl model terénu vyroben pomocí fotogrammetrie. Oba rastry mají rozlišení pixelu 1 x 1 metr.

Model terénu

Na obou modelech je provedeno několik analýz. Nejprve však byly oříznuty podle odhadnutého povodí zájmového území. Již zde, na obrázcích 41 a 42, můžeme vidět několik rozdílů, především ve tvaru a velikosti řešeného území.



OBRÁZEK 41: MODEL TERÉNU, LIDAR



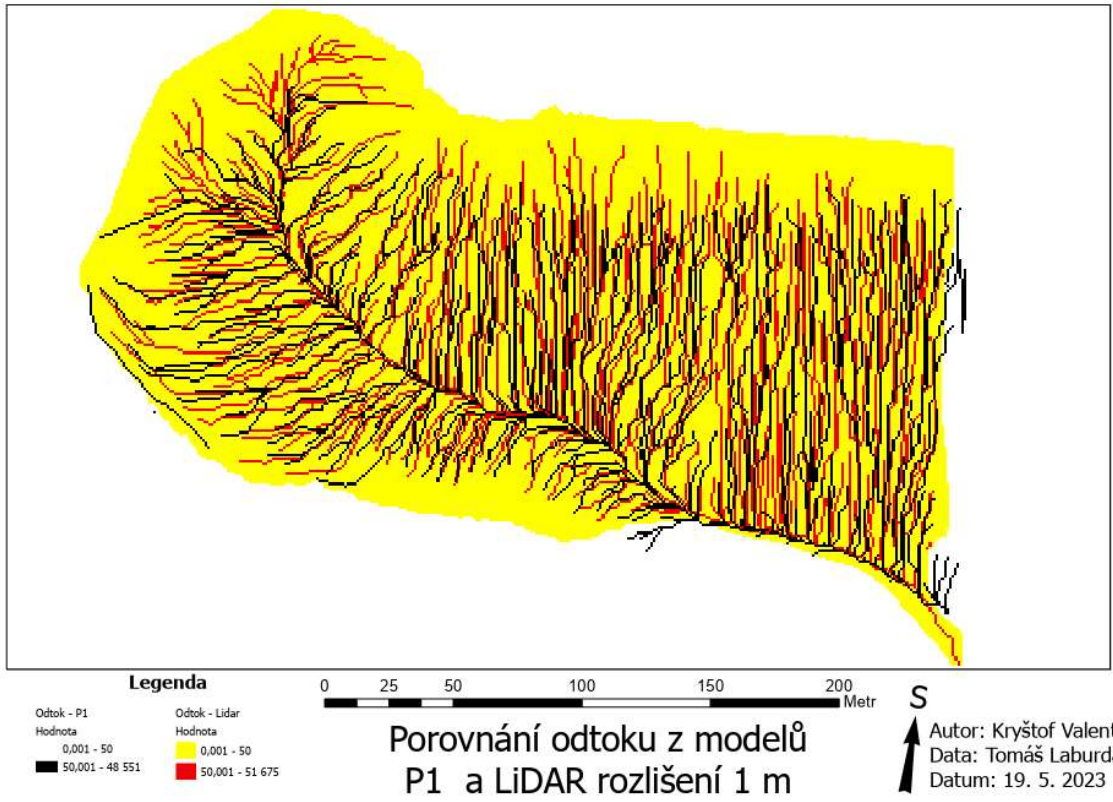
OBRÁZEK 42: MODEL TERÉNU, P1

Z těchto dat není možné usoudit, který model terénu je přesnější. Pouze je poukazováno na fakt, že i při použití stejných nástrojů analýzy se modely mohou lišit v závislosti na zdrojových datech.

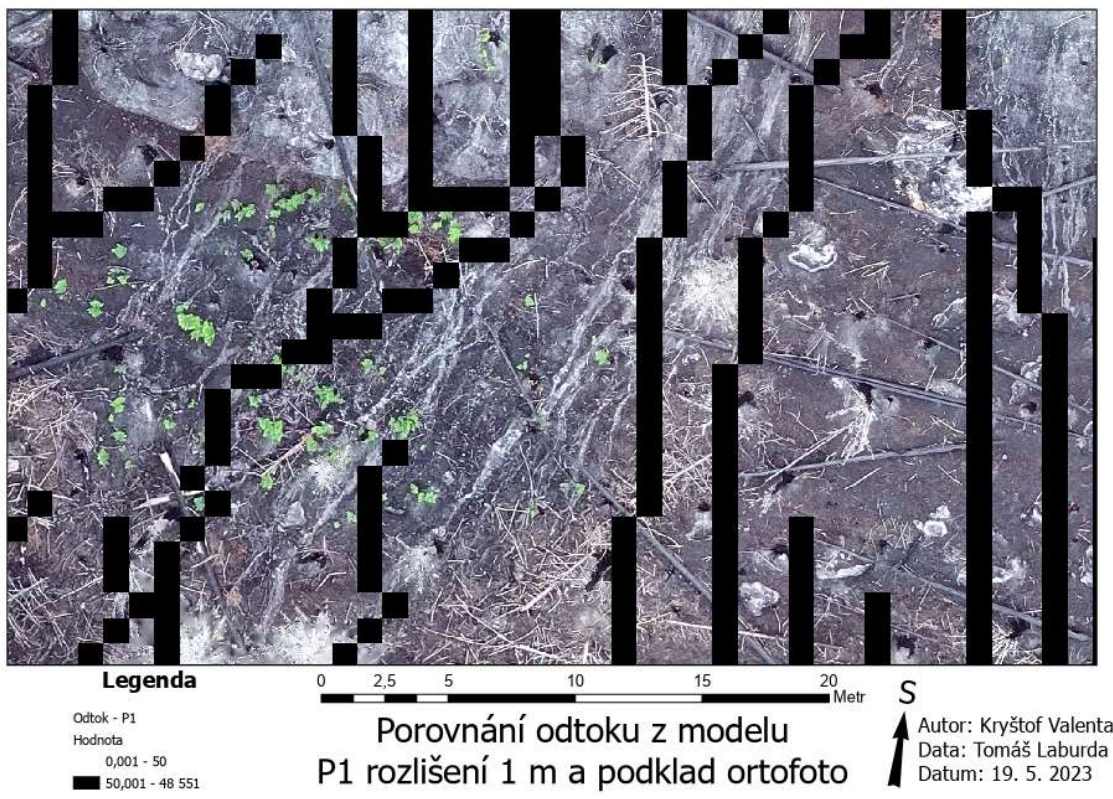
Odtok

Dalším porovnávaným faktorem je odtok. Vrstvy z obou modelů terénu jsou srovnatelné. Předpokládaná místa s vyšším odtokem se lehce lišila. Nelze tvrdit, že by jeden z modelů byl nepřesný, ale rozdíly jsou patrné. Je také možné pozorovat rozdíly ve velikosti modelů. Výsledky jsou porovnány tak, že přes vrstvu odtoku spočítaného na datech LiDARu je vyobrazena vrstva odtoku z modelu vyrobeného pomocí fotogrammetrie. Obě vrstvy odtoku můžeme vidět níže na obrázku 43.

Dále jsou data odtoku srovnána s erozními rýhami na ortofoto snímkách. Zde se projevilo příliš hrubé rozlišení obou modelů. Případná místa vysokého odtoku jdou, v důsledku nízkého rozlišení, modely aproximována. Skutečné erozní rýhy tak modely odrážejí sporadicky. Porovnané ortofoto s modelem vytvořeným fotogrammetrií je možné vidět na obrázku 44 a model z LiDARu na obrázku 45.



OBRÁZEK 43: POROVNÁNÍ ODTOKŮ, P1 A LIDAR



OBRÁZEK 44: POROVNÁNÍ ODTOKU Z MODELU P1 A ORTOFOTA



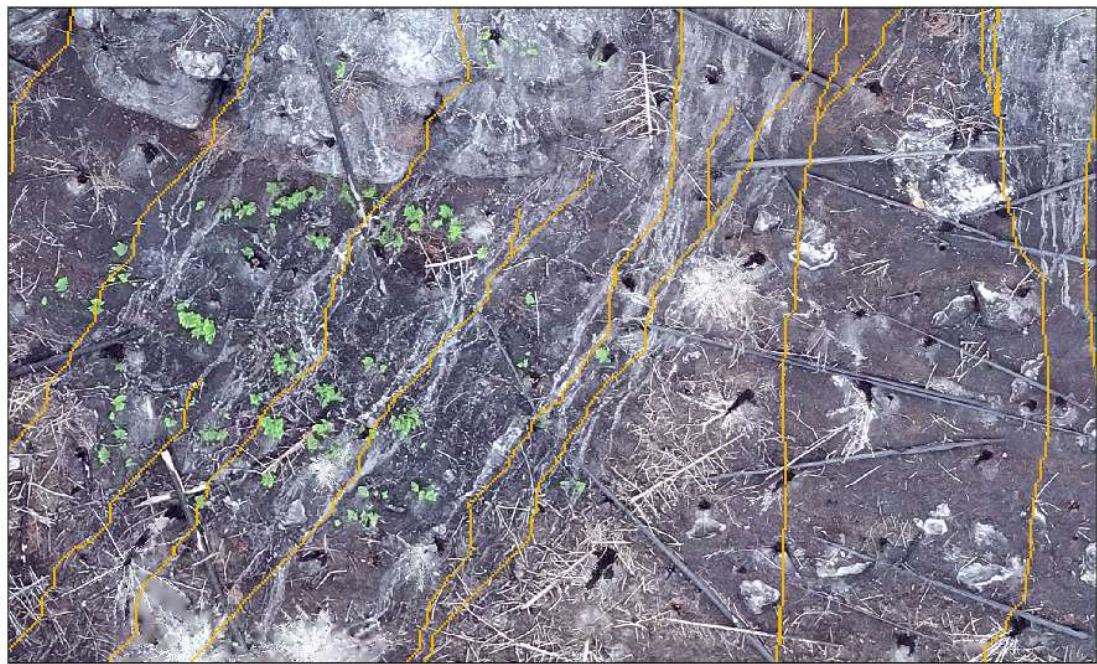
Legenda

Odtok - Lidar
 Hodnota
 0,001 - 50
 50,001 - 51 675

**Porovnání odtoku z modelu
 LiDAR rozlišení 1 m a podklad ortofoto**

S
 Autor: Kryštof Valenta
 Data: Tomáš Laburda
 Datum: 19. 5. 2023

OBRÁZEK 45: POROVNÁNÍ ODTOKU Z MODELU LIDAR A ORTOFOTA



Legenda

Odtok - Lidar rozlišení 10
 cm
 Value
 0,001 - 5 000
 5 000,001 -
 1 916 453,271

**Porovnání odtoku z modelu
 LiDAR rozlišení 10 cm a podklad ortofoto**

S
 Autor: Kryštof Valenta
 Data: Tomáš Laburda
 Datum: 19. 5. 2023

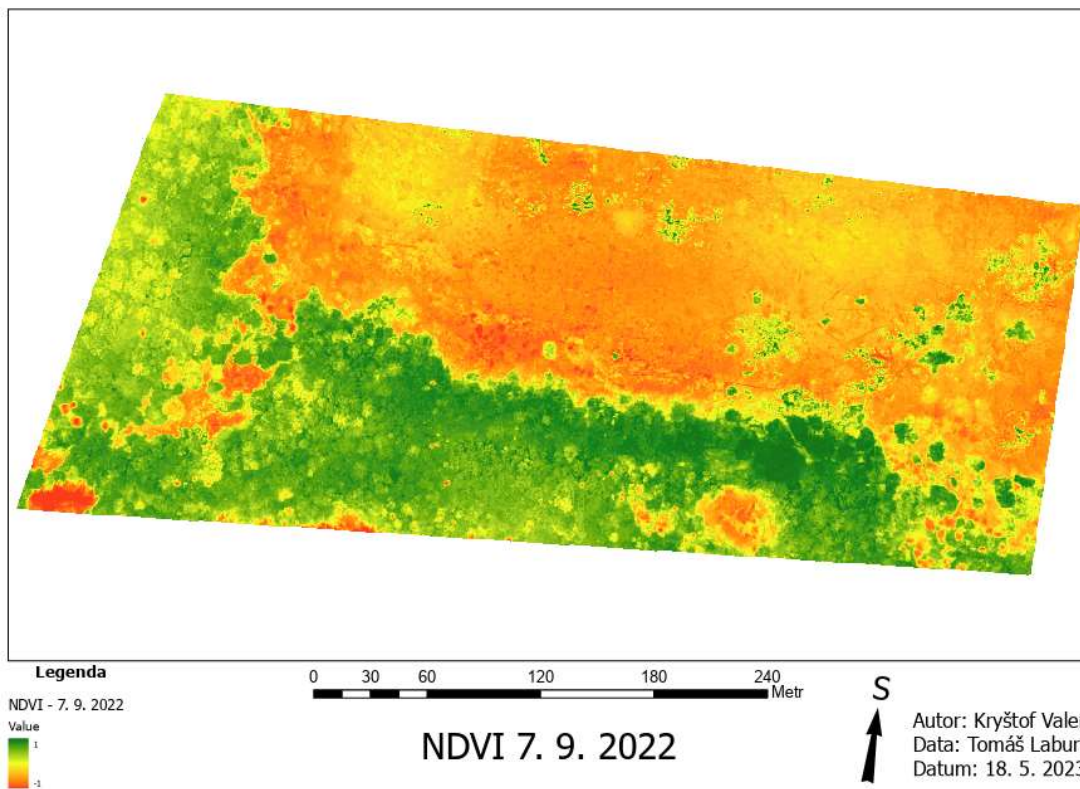
OBRÁZEK 46: POROVNÁNÍ ODTOKU MODELU LIDAR ROZLIŠENÍ 10 CM A ORTOFOTA

Pokud použijeme model jemnější s rozlišením jednoho pixelu 10 cm, výsledky již více odpovídají nafocenímu stavu. Ty můžeme pozorovat na obrázku 46. Pokud chceme vymodelovat konkrétní erozně ohrožená místa na menších územích, model terénu s menšími pixely je vhodnějším vstupem.

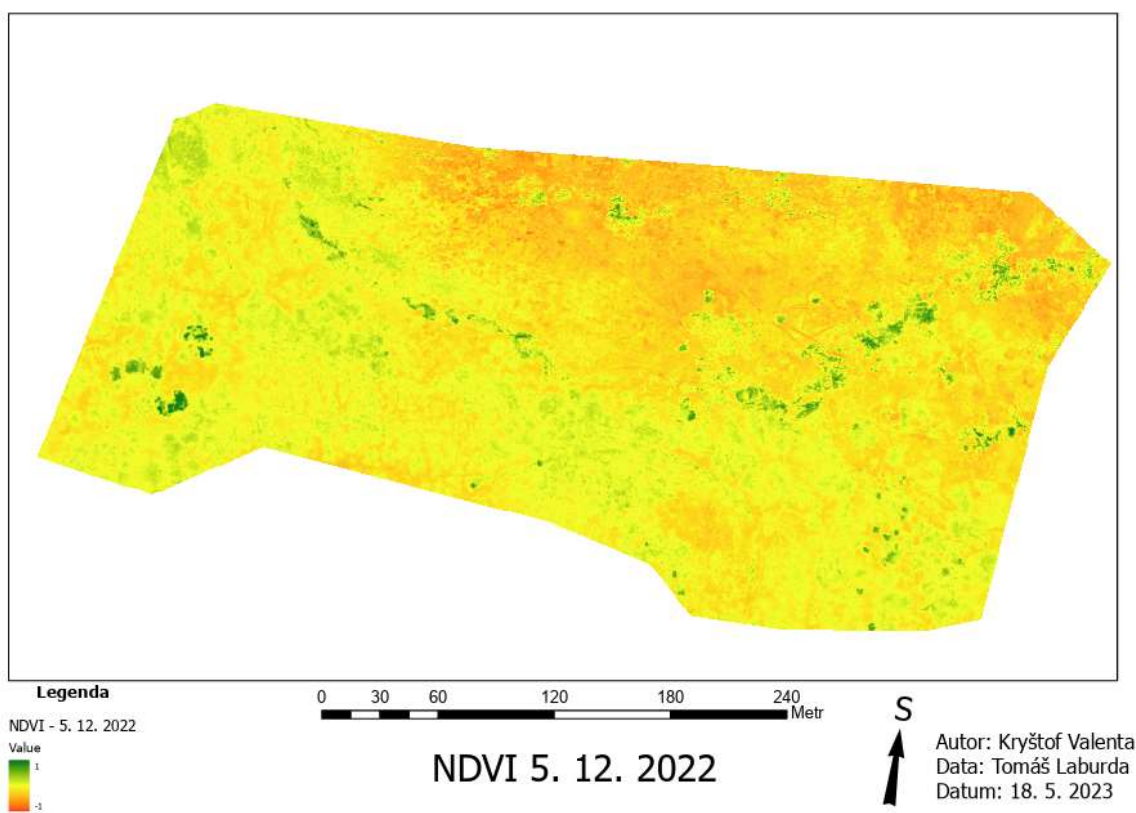
5.2.3 NDVI

V rámci zjištění návaznosti mezi erozí a obnovou vegetace byly pořízeny multispektrální snímky celé oblasti. Na nich je vypočítán index NDVI. Tyto nálety byly také pořízeny celkem ve třech datumech jako předcházející data. Na následujících obrázcích 47 a 48 lze sledovat vrstvy NDVI z prvního a posledního náletu.

Jak je vidět z letmého pohledu na obě vrstvy NDVI, vrstvy nejsou stejné. Můžeme tedy pozorovat určitý vegetační vývoj. Na prvním snímku vidíme jasný rozdíl mezi spáleništěm na severní straně (červeně) a bukovým lesem na jihu a západě snímku (zeleně). Přesto si můžeme všimnout ostrůvků zelené barvy ve spáleništi a červených ve bukovém lese. Zelené ostrůvky označují buď zbylou vegetaci, nebo nově obnovené kapradiny. Červené ostrůvky naopak značí lokální spáleniště i v bukovém lese nebo mezery mezi stromy.



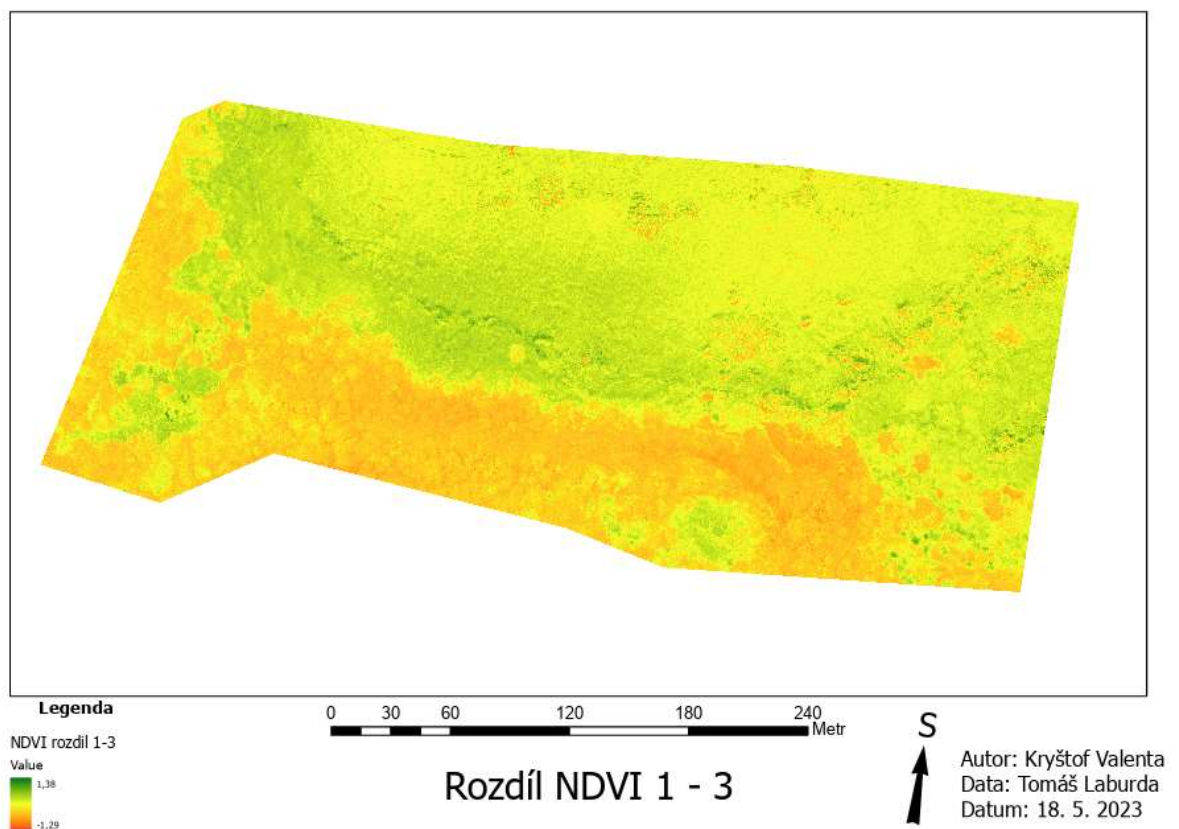
OBRÁZEK 47: HODNOTY NDVI – 7. 9. 2022



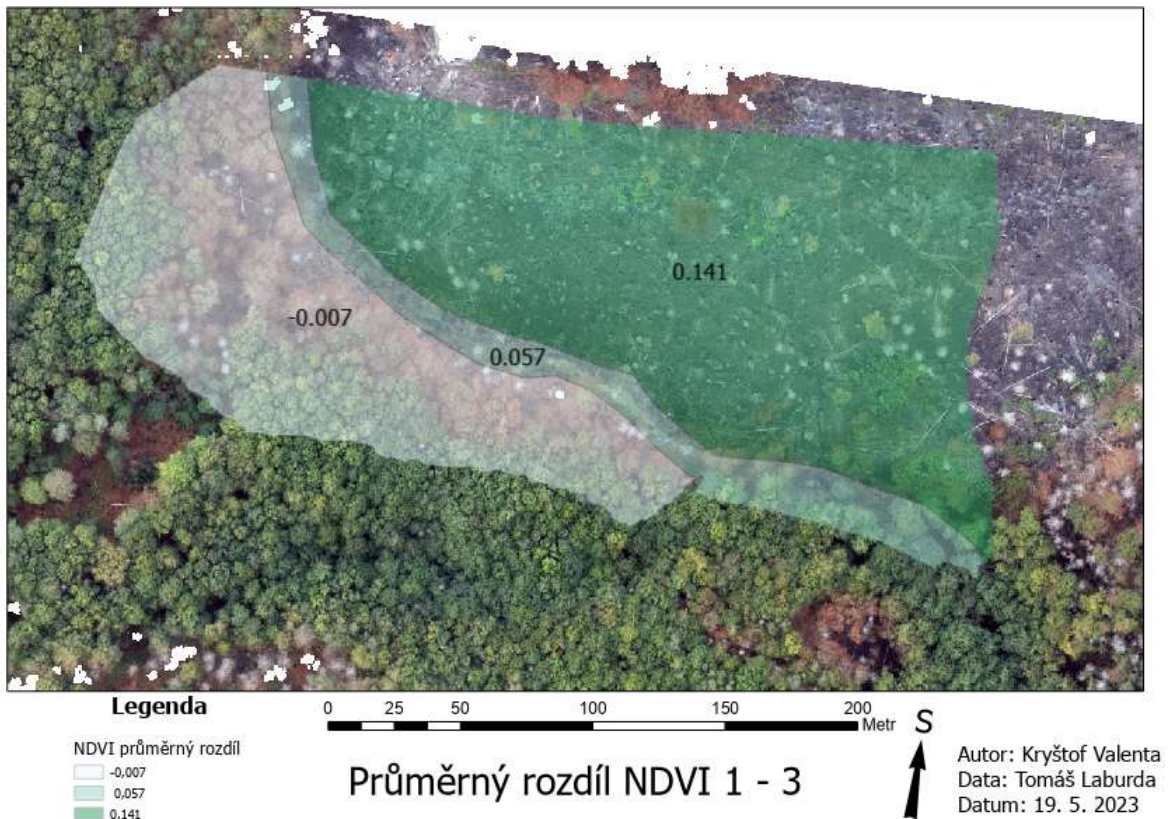
OBRÁZEK 48: HODNOTY NDVI – 5. 12. 2022

Na novějším snímku již takový jasný rozdíl mezi spálenišťem a bukovým lesem nevidíme. Bukový les z důvodu opadání listů vidíme jako převážně žlutý, tedy s hodnotami blízcími se nule, spáleniště stále dokážeme rozpoznat díky načervenalé barvě a zelené ostrůvky nám ukazují traviny a kapradiny v údolnicích anebo také osamocené přeživší jehličnany.

Vrstvy NDVI byly od sebe následně odečteny, aby byl měřitelný rozdíl mezi vegetací ihned po požáru a obnovenější vegetací s časovým odstupem. Na obrázku 49 můžeme pozorovat, jaký vliv má opadání listů na hodnoty NDVI. Zelenější části můžeme vidět v okolí údolnice. Na svazích nevidíme přímou souvislost mezi odtokem stékajícím do erozních rýh a naměřenými hodnotami NDVI. Ve větším rozměru souvislost mezi odtokem, erozí živin, můžeme pozorovat v samotné údolnici, kde odtok nabývá vyšších hodnot.



OBRÁZEK 49: ROZDÍL NDVI PRVNÍHO A POSLEDNÍHO NÁLETU



OBRÁZEK 50: PRŮMĚRNÁ HODNOTA ROZDÍLU NDVI PRVNÍHO A POSLEDNÍHO NÁLETU

Z rozdílu NDVI byla následně vypočítána jeho průměrná hodnota na řešeném území. To bylo rozděleno na tři různé celky. Prvním je smrkové spáleniště na severu přímo u Stříbrné skály, druhým je část bukového lesa na jihu a západu a posledním celkem je údolnice, která se nachází mezi nimi. Na obrázku 50 je možné vidět výsledky. Z výsledných hodnot není možné kvantifikovat vegetaci, ale je možné určit trend a jeho velikost. Co se týče bukové strany, průměrná hodnota změny NDVI je 0,007. Toto číslo je výrazně ovlivněno tím, že buky jsou listnaté stromy. Jejich listy byly v době posledního náletu již opadané, což mohlo zkreslit výsledek. Když nebudeme brát v potaz přirozené snížení NDVI z důvodu opadávání listů, hodnoty NDVI vyjdou v plusové hodnotě. Na smrkovém spáleništi byla naměřena nejvyšší rozdílová hodnota 0,141. Ta dokazuje růst organické hmoty a postupnou obnovu. Výrazný vliv na to mají procesy měnící popel na hnědou úrodnější půdu. V údolnici, kde byl očekáván nejvyšší rozdíl, byla naměřena hodnota 0,057. To je přibližně polovina hodnot změřených na smrkovém

spáleníšti. Je možné, že výsledek ovlivnily bukové stromy, které se na jedné straně údolnice nacházejí.

Celkově výsledky z NDVI naznačují postupnou obnovu půdy a vegetace. Tato obnova se z pohledu NDVI nezdá být výrazná. Pokud by se podobný nálet uskutečnil i na jaře tohoto roku, změna by byla výraznější.

6 Závěr

V rámci zpracovávání této práce byly zjištěny a prozkoumány půdní charakteristiky lesní půdy po požáru, její zrnitostní složení a celkový obsah uhlíku ve smyvu jak přirozeném, tak experimentálně zjištěném. Analýzy byly provedeny v lokálním měřítku. Dále pak z těchto dat byly provedeny simulace odtoku a zjištěna souvislost mezi odtokem a obnovou vegetace.

Zrnitostní složení pomohlo pochopit poměr agregátů v půdě i vzorcích smyvu a ve většině případů mělo souvislost s obsahem TOC.

Z měření půdních charakteristik bylo zjištěno, že se jedná o půdy písčitohlinité až hlinitopísčité. Povrchové hodnoty zrnitosti se před rozbitím pohybovaly v rozmezí 1408 až 155 nm. Po rozbití bylo rozpětí větší. Hodnoty zrnitosti se pohybovali mezi 396 a 581 nm. Hodnoty TOC se na povrchu pohybovaly zase kolem hodnoty 20 %, kdy průměrná hodnota všech vzorků byla 19,82 %. S postupnou hloubkou hodnota klesala a v hloubce 10 cm se již blížila nule.

Co se týče shrnutí výsledků z experimentu, tak zrnitostní poměr vykazoval trend pouze u třetího a čtvrtého experimentu. U prvního byl poměr při začátku simulace u měřené skupiny Dx (10) 0,251 a na konci 0,401. To značí vyšší vyplavování organické složky na začátku než na konci, což potvrzovalo i měření TOC, kdy byla nejprve naměřena hodnota 15,5 % a později hodnota 8,2 %. Tento experiment byl proveden na smrkové straně a vykazoval klesající trend smyvu sloučenin uhlíku. Naopak poslední experiment prováděný na bukové straně měl opačný trend. Zrnitostní poměr anorganických zrn klesal s dobou experimentu. Na začátku byla zjištěna hodnota 0,789 u skupiny Dx (90) a na konci hodnota 0,353. Tento jev neodrážela hodnota TOC. Ze začátku experimentu byla naměřena hodnota 23,7 % a na konci hodnota 14,2 %. Ostatní experimenty nevykazovaly výrazný trend.

Přirozený smyv vykazoval v obou měřených vlastnostech smyvu vysoký obsah sloučenin uhlíku. U trvale instalované plochy na smrkové straně se poměr

zrn ku agregátům pohyboval ve všech zkoumaných skupinách v rozmezí 0,100 a 0,260. Na bukové straně byly hodnoty zkreslené malou hmotností sedimentu vzorků, ale také povětšinou ukazovaly čísla podobná. Pouze u skupiny Dx (90) byly vidět výkyvy oproti smrkové straně. Hodnoty TOC byly měřeny na každém místě dvakrát a vždy ukázaly vyšší hodnoty než u vzorků z experimentu. Hodnoty TOC u smrkové části dosahovaly 28,8 %. Na bukové straně jsme mohli pozorovat hodnot ještě vyšší a to 31,0 % a 42,4 %. Přirozený smyv měl celkově vyšší hodnoty TOC, než bylo zjištěno u experimentu.

Z dat získaných z UAV bylo zjištěno, že na simulaci odtoku je na takovýchto menších územích potřeba nižšího rozlišení pixelů. Při rozlišení pixelů metr na metr nebyla data přesná z důvodu aproximace modelem. Při rozlišení 10 cm na 10 cm již data odpovídala pozorovaným rýhám. Z dat NDVI na svahu spáleniště nebyla viditelná souvislost eroze a obnovy vegetace. Tento jev se začal objevovat až v údolnici mezi bukovou a smrkovou stranou. Z výsledků vyplývá, že souvislost mezi erozí a obnovou vegetace může nastat, ale až ve větším měřítku. Pokud se podíváme na rozdíl hodnot NDVI, kterými byl tento jev sledován, tak nejvyšší rozdíl této hodnoty vidíme na smrkovém spáleništi a to 0,144. Zde byly ovšem také napáchány největší škody. Výsledek se tedy dal očekávat. V údolnici jsme mohli také pozorovat zvýšení hodnoty a to o 0,057. Pokud se podíváme na bukovou stranu lesa tak zde vidíme velice mírný pokles a to -0,008. Ten byl nejspíše výrazněji ovlivněn opadáním listů ze stromů. Stále to tedy ukazuje zlepšení stavu vegetace

Tato práce ukázala možnosti zkoumání půdy z hlediska zrnitosti, agregátů a celkového obsahu uhlíku; souvislosti mezi těmito vlastnostmi; a také důležitost faktoru NDVI a použití UAV, lidarových dat, fotogrammetrie a široké škály programů pro environmentální účely.

Seznam citované literatury

ADÁMEK, Martin, [b.r.]. Dlouhodobý vývoj vegetace pískovcových borů po požáru a možnosti jejich požárového managementu Postglacial colonization of *Alnus glutinosa* and *Alnus incana*: analysis of DNA variation and fossil records View project Fire in postglacial Central Europe: neglected historical and present effect in forest dynamics View project [online]. [vid. 2023-05-01]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/328020201>

AF MENDELU, 2023. *Principy hodnocení vybraných ukazatelů kvality půd* [online] [vid. 2023-05-19]. Dostupné z: https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=5054&typ=html

ANETA HOTTMAROVÁ, 2022. *Život po kůrovci v národním parku České Švýcarsko*. ISBN 9788020029935.

Anon., 2016. *CSF (plugin) - CloudCompareWiki* [online] [vid. 2023-05-21]. Dostupné z: [https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php/CSF_\(plugin\)](https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php/CSF_(plugin))

Anon., [b.r.]. *Zelené a UV lasery | Megablog* [online] [vid. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.mega-blog.cz/lasery/zelene-a-uv-lasery/>

ANTONÍN BUČEK, Ing a CSc ING JAN LACINA, 1999. *GEOBIOCENOLOGIE II GEOBIOCENOLOGICKÁ TYPOLOGIE KRAJINY ČESKÉ REPUBLIKY*.

DOSTÁL, Tomáš, 2022. *Ochrana a organizace povodí - přednáška č. 1*.

EAGRI, [b.r.]. *Fotky eroze* [online]. [vid. 2023-05-17]. Dostupné z: https://eagri.cz/public/web/file/133919/Fotogalerie__projevy_eroze.pdf

ESRI, 2023a. *Flow Accumulation (Spatial Analyst)—ArcGIS Pro | Documentation* [online] [vid. 2023-05-21]. Dostupné z: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/flow-accumulation.htm>

ESRI, 2023b. *Flow Direction (Spatial Analyst)—ArcGIS Pro | Documentation* [online] [vid. 2023-05-21]. Dostupné z: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/flow-direction.htm>

ESRI, 2023c. *How Flow Accumulation works—ArcGIS Pro | Documentation* [online] [vid. 2023-05-21]. Dostupné z: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-flow-accumulation-works.htm>

ESRI, 2023d. *How Flow Direction works—ArcGIS Pro | Documentation* [online] [vid. 2023-05-21]. Dostupné z: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-flow-direction-works.htm>

GISGEOGRAPHY, 2019. *What is NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)? - GIS Geography* [online] [vid. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://gisgeography.com/ndvi-normalized-difference-vegetation-index/>

HUBOVÁ, Petra, 2017. *4.cvičení - Metody stanovení zrnitosti* [online] [vid. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/46379149-4-cviceni-metody-stanoveni-zrnitosti.html>

IARC, 2016. *Evropský kodex proti rakovině - Co je to „záření“? Jaké druhy záření existují?* [online] [vid. 2023-05-21]. Dostupné z: <https://cancer-code-europe.iarc.fr/index.php/cs/12-zpusobu/zareni/2951-co-je-to-zareni-jake-druhy-zareni-existuji>

INSTRUMENTS, Malvern, 2013. *Manual: Mastersizer 3000 User Manual (MAN0474-2.1)* [online]. Dostupné z: www.malvern.com

JENA, Analytik AG, [b.r.]. High-Performance TOC Analyzer multi N/C[®] Series.

K143, 2022. *Ilustrační foto - České Švýcarsko, Stříbrné stěny.*

LABURDA, Ing Tomáš, Ing Petr KAVKA, Ing David ZUMR, Ing Michal JEŘÁBEK, Ing VRÁNA a Jan-František KUBÁT, 2022. *Workshop moderních technologií geomatiky SVK Telč 2022 Monitoring požářiště NP České Švýcarsko pomocí DPZ.*

LIU, Xiaoye, 2008. Airborne LiDAR for DEM generation: some critical issues. *Progress in Physical Geography* [online]. **32**(1), 31–49 [vid. 2023-04-28]. Dostupné z: doi:10.1177/0309133308089496

MICASENSE, [b.r.]. *Multispectral FAQs – MicaSense Knowledge Base* [online] [vid. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://support.micasense.com/hc/en-us/articles/229948948-Multispectral-FAQs>

MINZ, Prashant Saurabh a Charanjiv Singh SAINI, 2021. RGB camera-based image technique for color measurement of flavored milk. *Measurement: Food* [online]. **4**, 100012 [vid. 2023-05-20]. ISSN 2772-2759. Dostupné z: doi:10.1016/J.MEAFOO.2021.100012

NAVIN, M. Sam a L. AGILANDEESWARI, 2020. Multispectral and hyperspectral images based land use / land cover change prediction analysis: an extensive review. *Multimedia Tools and Applications* [online]. **79**(39–40), 29751–29774 [vid. 2023-05-20]. ISSN 15737721. Dostupné z: doi:10.1007/S11042-020-09531-Z/TABLES/4

NP ČESKÉ ŠVÝCARSKO, [b.r.]. *Geologie | Oficiální webové stránky NP České Švýcarsko a CHKO Labské pískovce* [online] [vid. 2023-05-01]. Dostupné z: <https://www.npcs.cz/geologie>

SEZNAM, zprávy, 2022. *Požár České Švýcarsko: Srovnání satelitních snímků* [online] [vid. 2023-05-21]. Dostupné z: <https://www.seznamzpravy.cz/clanek/fakta-srovnani-satelit-ukazal-jake-rany-ustedril-ohen-ceskemu-svycarsku-210685>

SNĚHOTA, Michal, 2021. *Zadání laboratorního cvičení č. 4 z Pedologie* [online] [vid. 2023-05-21]. Dostupné z: [https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fstorm.fsv.cvut.cz%2Fdata%2Ffiles%2Fp%25C5%2599edm%25C4%259Bty%2FPED%2FCviceniPED%2FPED_lab3_2021\(1\).doc&wdOrigin=BROWSELINK](https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fstorm.fsv.cvut.cz%2Fdata%2Ffiles%2Fp%25C5%2599edm%25C4%259Bty%2FPED%2FCviceniPED%2FPED_lab3_2021(1).doc&wdOrigin=BROWSELINK)

SNĚHOTA, Michal a Martin ŠANDA, 2021. Pedologie - přednáška č. 4. - struktura a textura.

ŠARAPATKA, Bořivoj, 2014. *Pedologie a ochrana půdy*.

ŠTĚPÁNEK, Jakub, 2015. *Vyhodnocování spektra slunečního záření*.

WANDINGER, Ulla, 2005. Introduction to Lidar. In: Claus WEITKAMP, ed. *Lidar: Range-Resolved Optical Remote Sensing of the Atmosphere* [online]. New York, NY: Springer New York, s. 1–18. ISBN 978-0-387-25101-1. Dostupné z: doi:10.1007/0-387-25101-4_1

WESTOBY, M. J., J. BRASINGTON, N. F. GLASSER, M. J. HAMBREY a J. M. REYNOLDS, 2012. 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology* [online]. **179**, 300–314 [vid. 2023-05-20]. ISSN 0169-555X. Dostupné z: doi:10.1016/J.GEOMORPH.2012.08.021

Seznam obrázků

Obrázek 1: Geologické složení národního parku České švýcarsko (NP České Švýcarsko [b.r.])	2
Obrázek 2: Rozsah požáru v českém švýcarsku, jedná se o IR satelitní snímek, Písmeno H značí vesnici hřensko a písmeno M vesnici mezná (Seznam 2022)	4
Obrázek 3: Řešené území na ortofoto mapě ČR	5
Obrázek 4: Řešené území viditelně rozděleno údolnicí na Bukový les a smrkové spáleníště	5
Obrázek 5: Typy půdních agregátů (AF Mendelu 2023).....	6
Obrázek 6: Trojúhelníkový diagram zrnitosti (Hubová 2017)	8
Obrázek 7: Plošná eroze (EAGRI [b.r.]).....	10
Obrázek 8: Rýhová eroze na poli (EAGRI [b.r.])	11
Obrázek 9: Škála vlnových délek (Zelené a UV Lasery Megablog [b.r.])	12
Obrázek 10: Příprava na spuštění dešťového simulátoru (K143 2022)	14
Obrázek 11: Trvale instalovaná plocha na smrkovém spáleníšti.....	15
Obrázek 12: Schematické zapojení laserového difraktometru Malvern 3000 (Instruments 2013).....	16
Obrázek 13: Schematické zobrazení principu měření TOC (Jena [b.r.])	17
Obrázek 14: křemenná lodička v peci při měření TOC	18
Obrázek 15: Schematické znázornění laserového vysílače a přijímače	19
Obrázek 16: Multispektrální kamera připnutá na dron DJI Matrice 300 RTK	20
Obrázek 17: RGB kamera připevněná k UAV DJI Matrice 300 RTK	22
Obrázek 18: Schematické vysvětlení funkčnosti CSF (CSF (Plugin) – CloudCompareWiki 2016).....	23

Obrázek 19: Schematické znázornění nástroje Flow Direction (ESRI 2023d)	24
Obrázek 20: Schematické zobrazení nástroje Flow Accumulation(ESRI 2023c) ...	25
Obrázek 21: Vzorec pro výpočet NDVI (GISGeography 2019)	25
Obrázek 22: Umístění ploch měření	26
Obrázek 23: Poměr zrn před rozbitím a po rozbití, Smrk 1	31
Obrázek 24: Poměr zrn před rozbitím a po rozbití, Smrk 2	31
Obrázek 25: Poměr zrn před rozbitím a po rozbití, Buk	32
Obrázek 26: Vývoj TOC s hloubkou, Smrk 1	33
Obrázek 27: Vývoj TOC s hloubkou, Smrk 2.....	33
Obrázek 28: Vývoj TOC s hloubkou, Buk	33
Obrázek 29: Poměr zrn před rozbitím a po rozbití agregátů, experiment 1	34
Obrázek 30: Poměr zrn před rozbitím a po rozbití agregátů, experiment 2.....	35
Obrázek 31: Obsah TOC, experiment 2.....	36
Obrázek 32: Poměr zrn před rozbitím a po rozbití agregátů, experiment 3	37
Obrázek 33: Obsah TOC, experiment 3	37
Obrázek 34: Poměr zrn před rozbitím a po rozbití, experiment 4	38
Obrázek 35: Obsah TOC, experiment 4	39
Obrázek 36: Poměr zrn před rozbitím a po rozbití, přirozený smyv Smrk.....	40
Obrázek 37: Poměr zrn před rozbitím a po rozbití, přirozený smyv Buk	41
Obrázek 38: Erozní rýhy 7. 9. 2022	43
Obrázek 39: Erozní rýhy 15. 9. 2022.....	44
Obrázek 40: Erozní rýhy 5. 12. 2022	44

Obrázek 41: Model terénu, LiDAR.....	45
Obrázek 42: Model terénu, P1.....	46
Obrázek 43: Porovnání odtoků, P1 a LiDAR.....	47
Obrázek 44: porovnání odtoku z modelu P1 a ortofota.....	47
Obrázek 45: Porovnání odtoku z modelu LiDAR a ortofota.....	48
Obrázek 46: Porovnání odtoku modelu lidar rozlišení 10 cm a ortofota.....	48
Obrázek 47: Hodnoty NDVI – 7. 9. 2022.....	50
Obrázek 48: Hodnoty NDVI – 5. 12. 2022.....	50
Obrázek 49: Rozdíl NDVI prvního a posledního náletu.....	51
Obrázek 50: Průměrná hodnota rozdílu NDVI prvního a posledního náletu.....	52

Seznam tabulek

Tabulka 1: Zařazení půdy podle zrnitosti dle Nováka (Sněhota a Šanda 2021)	7
Tabulka 2: Tabulka půdních zrnitostí vzorků z odběrného místa Smrk 1.....	28
Tabulka 3: Tabulka půdních zrnitostí vzorků z odběrného místa Smrk 2.....	29
Tabulka 4: Tabulka půdních zrnitostí vzorků z odběrného místa Buk	30