

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

FAKULTA STAVEBNÍ



Kryštof Valenta

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

Bakalářská práce

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 vypracoval 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 dešťového simulátoru, 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 jeho 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 přesunem živin pomocí eroze 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 transport through soil 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 A CÍLE	1
2	NÁRODNÍ PARK ČESKÉ ŠVÝCARSKO	3
2.1	Geologie a pedologie	3
2.2	Vegetace.....	4
2.3	Požár.....	4
2.4	Zkoumaná lokalita.....	5
3	TEORETICKÁ ČÁST	7
3.1	Půdní charakteristiky.....	7
3.1.1	Struktura	7
3.1.2	Textura	8
3.1.3	Eroze.....	11
3.1.4	Uhlík v půdě	13
3.2	Dálkový průzkum Země.....	13
3.2.1	Fotogrammetrie	13
3.2.2	Vlnové délky záření	14
4	METODY MĚŘENÍ	15
4.1	Analýza změn v půdě	15
4.1.1	Dešťový simulátor	15
4.1.2	Trvale instalované plochy.....	16
4.1.3	Laboratorní měření	17
4.2	Dálkové průzkum Země (DPZ).....	20
4.2.1	LiDAR	21
4.2.2	Multispektrální kamera.....	22
4.2.3	RGB kamera.....	23
4.2.4	Zpracování dat z UAV	24
5	VÝSLEDKY	30
5.1	Půdní charakteristiky a charakteristiky vzniklého smyvu.....	30
5.1.1	Charakteristiky půdního pozadí	34
5.1.2	Vývoj půdních charakteristik.....	37
5.1.3	Experimentální dešťový simulátor	40
5.1.4	Přirozený smyv	44

5.2	Výsledky dat získaných pomocí UAV.....	49
5.2.1	Odtokové dráhy akumulace	49
5.2.2	Porovnání metod DPZ	51
5.2.3	Vegetační indexy	55
6	ZÁVĚR	61

1 Úvod a cíle

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. 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.

Hlavními cíli je sledování změn půdních charakteristik a vegetace v čase na lokálním měřítku v oblasti Stříbrných skal. Dalším cílem je také porovnání dvou různých vegetačních pokryvů, kdy se na jedné stráni nacházel přirozený bukový porost a na druhé smrkový porost suchý kvůli kůrovcové kalamitě. Na celé území je nahlíženo ze dvou pohledů, z pohledu pedologie (půdní fyziky) a DPZ (dálkového průzkumu země). V rámci měřítka odebraných vzorků (pedologie) půdy, přirozeného smyvu a smyvu z dešťového simulátoru, je zkoumán vývoj dvou půdních charakteristik, a to zrnitosti a obsahu uhlíku (TOC). V rámci DPZ je cílem zjistit míru obnovy vegetace na dvou různých lesních celcích, pomocí vegetačních indexů, a její potenciální souvislost s erozí.

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.

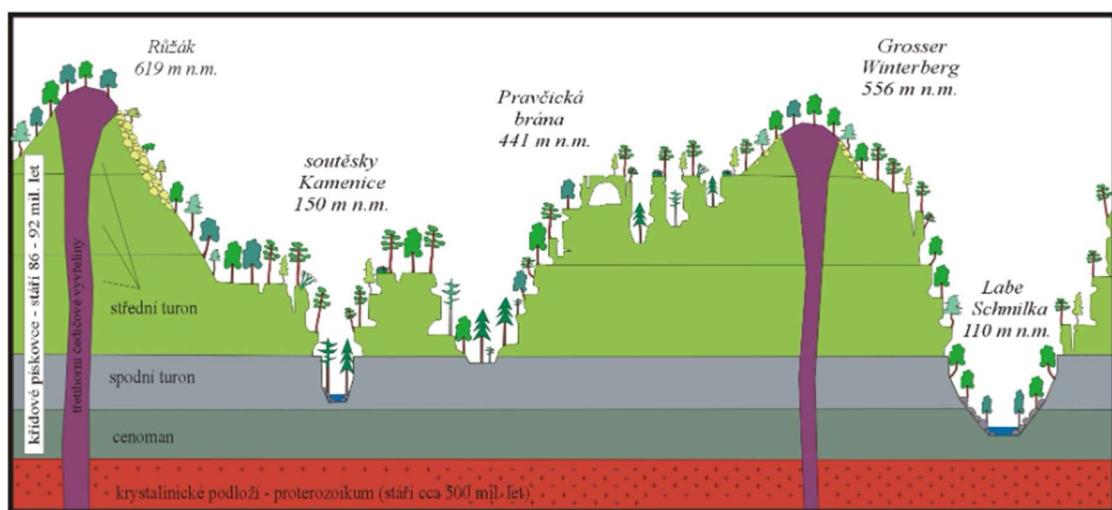
Bakalářská práce byla psána z části dálkově, při studiu na stáži v rámci programu Erasmus+ ve skotském městě Glasgow na University of Strathclyde. Z tohoto důvodu je práce především zaměřena na zpracování a analýzu dat, změřených týmem katedry hydromeliiorací a krajinného inženýrství. Se všemi metodami získávání dat a odběru vzorků jsem byl seznámen a na části z nich jsem se také podílel.

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, n. d.). 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 (Buček a Lacina 1999).

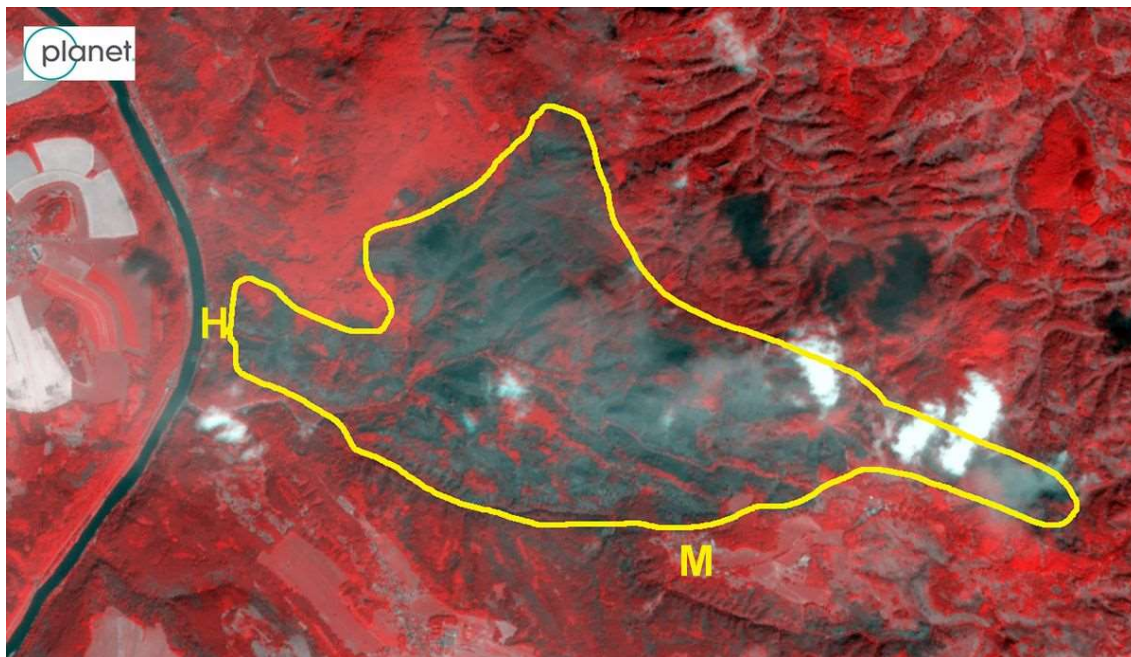
2.2 Vegetace

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 INFRAČERVENÉ 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 2018).

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.



S
↑

0 25 50 100 150 200 Metr

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

OBRÁZEK 3: ŘEŠENÉ ÚZEMÍ NA ORTOFOTO MAPĚ ČR



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

3 Teoretická část

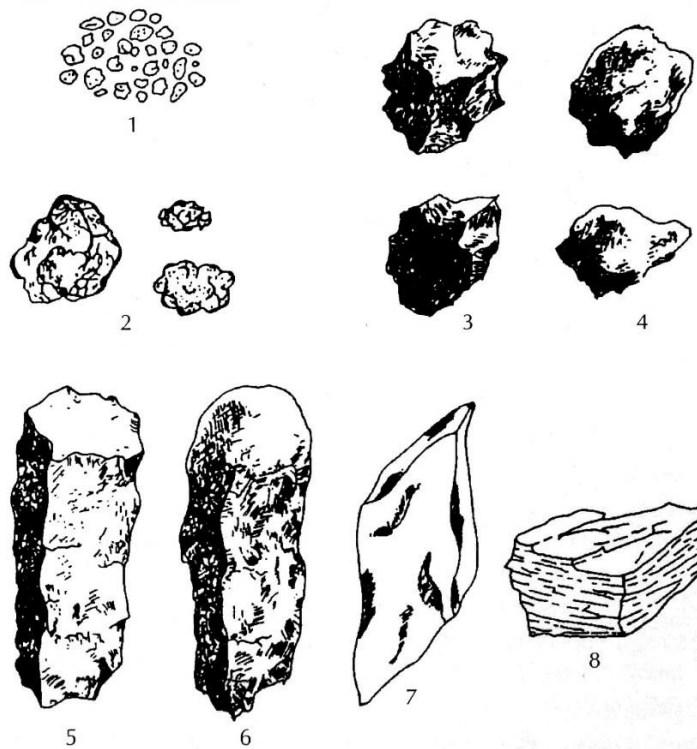
V rámci teoretické části byly popsány jevy, se kterými se čtenář může v této práci potkat. Byly také popsány měřené půdní charakteristiky, přiblíženy používané termíny a principy, podle kterých byla půda měřena a následně vyhodnocena. Poté bude vysvětlen teoretický základ týkající se dálkového pozorování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

3.1 Půdní charakteristiky

3.1.1 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 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.

3.1.2 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.

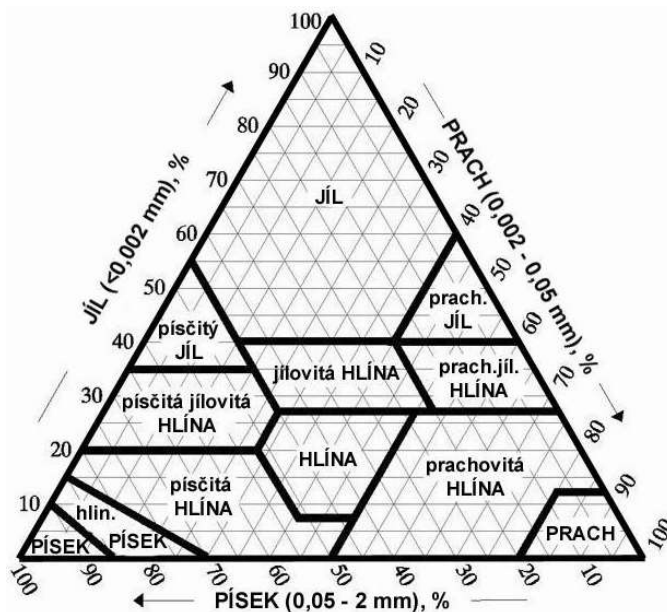
Aktuálně nejvíce používanými rozděleními v České republice je české rozdělení dle Nováka a rozdělení podle trojúhelníkového diagramu zrnitosti půd (NRSC USDA).

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 l. kategorie < (0,01 mm) v %	pojmenování	makroskopický posudek
0 – 10	píščitá	ani za mokra se částice nespojují
10 – 20	hlinitopíščitá	částice se za mokra spojují, nelze však vyválet hádka
20 – 30	píščitohlinitá	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).

3.1.3 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.

3.1.4 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).

3.2 Dálkový průzkum Země

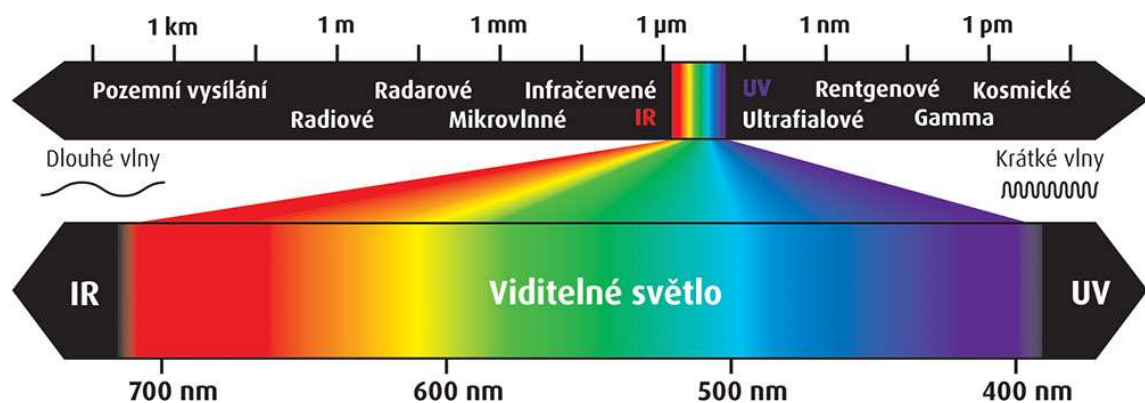
3.2.1 Fotogrammetrie

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).

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

3.2.2 Vlnové délky 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).

4 Metody měření

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

4.1 Analýza změn v půdě

Půdní vzorky byly odebrány z hrabanky, z hloubky 5 cm a z hloubky 10 cm. Všechny vzorky byly odebrány lopatičkou jako směsné a porušené. Dne 7. 9. 2022 byly odebrány podkladní 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. Dále byly odebírány půdní vzorky postupně v čase. Těch bylo odebráno celkem pět v 5 cm hloubce. Ty byly následně porovnány mezi sebou a také se vzorky nespálené půdy také v 5 cm.

4.1.1 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 přšeno 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)

4.1.2 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.



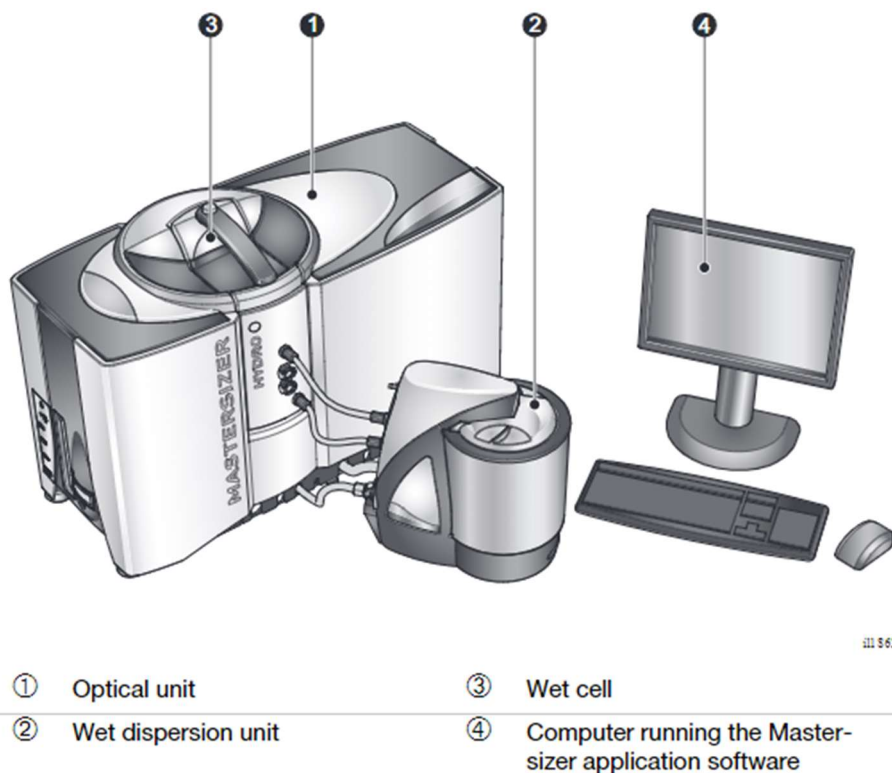
OBRÁZEK 11: TRVALE INSTALOVANÁ PLOCHA NA SMRKOVÉM SPÁLENIŠTI

4.1.3 Laboratorní měření

Všechny odebrané půdní vzorky, vzorky odtoku a smyvu 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.

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)

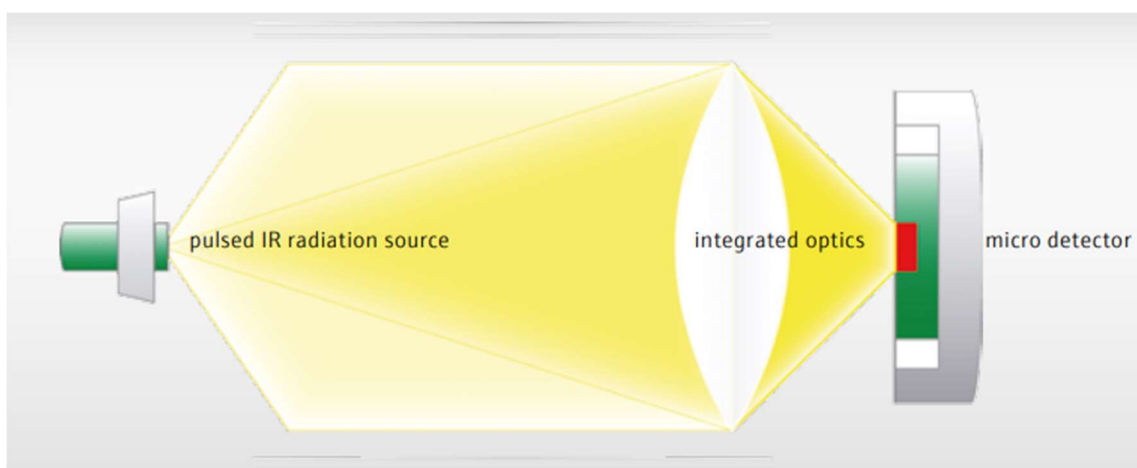
Postup měření byl následující. Vzorek bylo nutné nejprve namočit a vytvořit pastě podobnou konsistenci. Ta byla vytvořena tak, že byla část vzorku nasypána do malé kádinky, následně bylo přidáno malé množství vody. Za stálého míchání vzorku byla voda přidávána, dokud vzorek neměl vyhovující konsistenci. 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 pět 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.

Analytik Jena – TOC Analyser

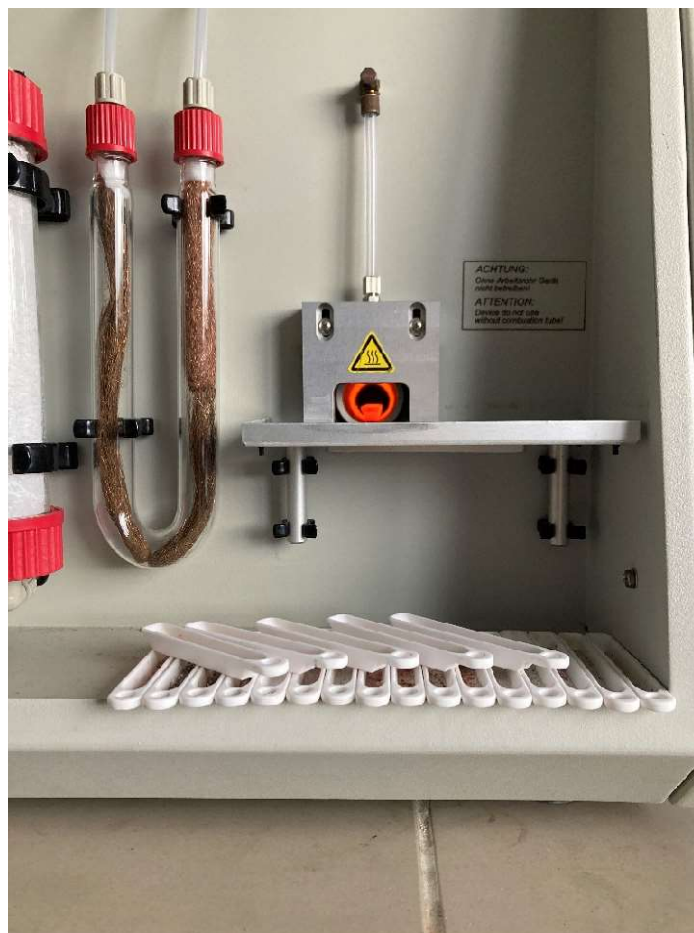
Ke změření TOC byl použit TOC Analyser od firmy Analytik Jena. Tento přístroj pálí vzorky při teplotách mezi 900–1200 °C (Sněhota 2021). Ze vzorku se při těchto teplotách vypálí všechna organická hmota. Ta je přeměněna na oxid uhličitý a ten přístroj následně, pomocí infračerveného záření, změří (Jena 2016). Schéma měřicího čidla je vidět na obrátku 13.



OBRÁZEK 13: SCHEMATICKÉ ZOBRAZENÍ PRINCIPU MĚŘENÍ TOC (JENA 2016)

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



OBRÁZEK 14: KŘEMENNÁ LODIČKA V PECI PŘI MĚŘENÍ TOC

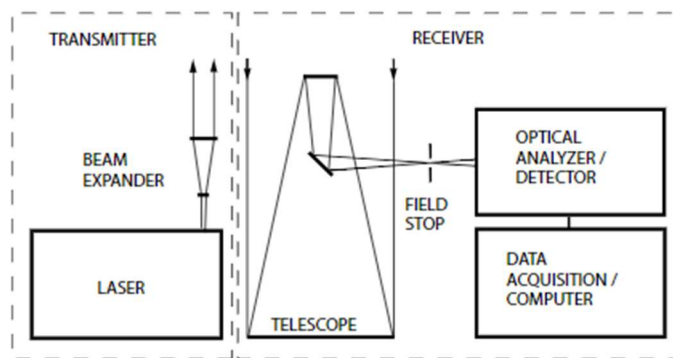
4.2 Dálkový průzkum Země (DPZ)

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. 9. 2022. Další nálety byly provedeny s větším odstupem, a to 5. 12. 2022, 28. 6. 2023 a 7. 9. 2023. 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 Mavic 2 Enterprise Advanced (Laburda et al. 2022).

4.2.1 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: SCHEMATICKÉ ZNÁZORNĚNÍ LASEROVÉHO VYSÍLAČE A PŘIJÍMAČE

Výstup z lidarového měření je mračno bodů, ze kterého se následně v analytických programech dá vytvořit DMZ (digitální 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.

4.2.2 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 2023)

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 Mavic 2 Enterprise Advanced.



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 a 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 2023).

4.2.3 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 Mavic 2 Enterprise Advanced.

4.2.4 Zpracování dat z UAV

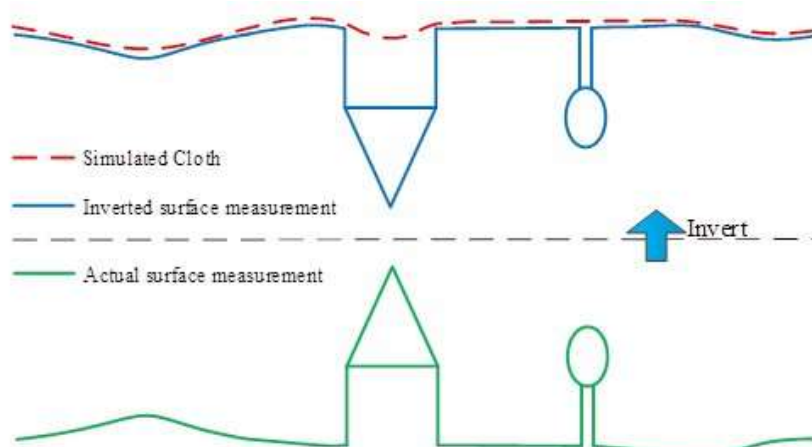
V této podkapitole budou popsány procesy a programy použité k analýze dat získaných z náletů UAV.

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. Tyto exportované podklady byly následně upraveny v program CloudCompare.

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 (Anon. 2016). Schematicky je jeho fungování možné vidět na obrázku 18.



OBRÁZEK 18: SCHEMATICKÉ VYSVĚTLENÍ FUKNČNOSTI CSF, (ANON. 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.

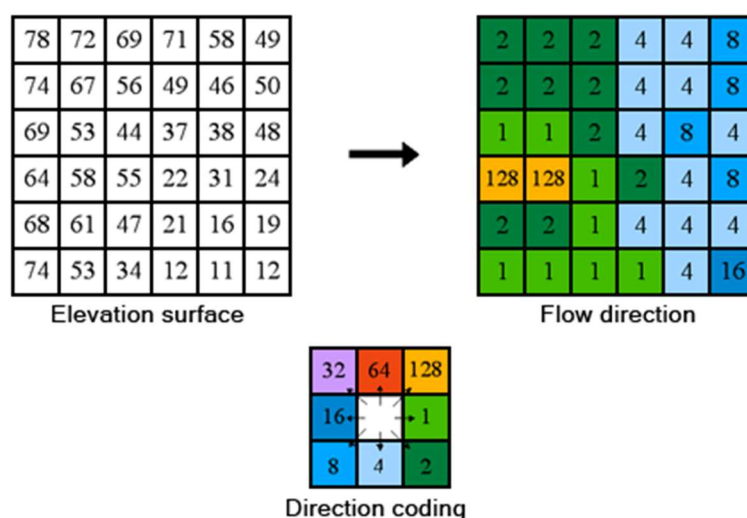
Použití tohoto pluginu bylo nutné, neboť analýzu odtoku je potřeba provádět na modelu terénu, který je bez překážek, a také proto, že model s budovami a vegetací by měl vysokou chybovost simulace odtoku.

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

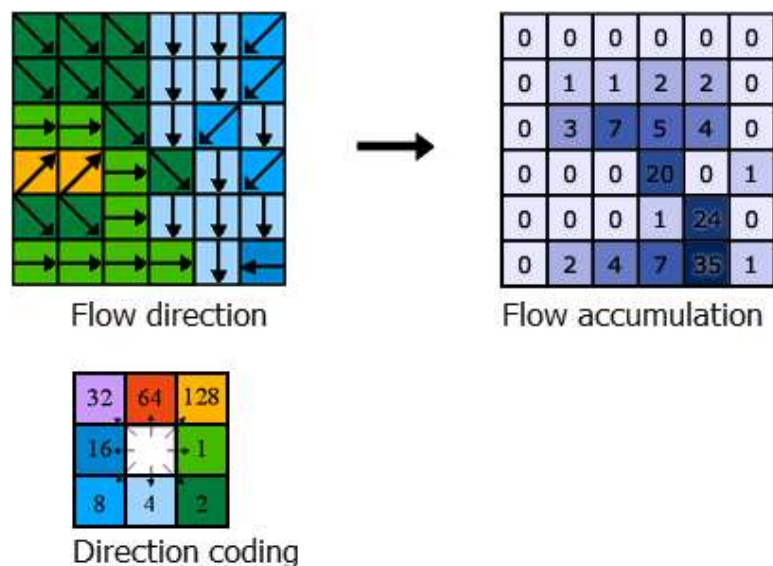
Tento nástroj dokáže z modelu terénu určit, jakým směrem bude odtékat voda z určitého místa. Existuje několik metod určení směru odtoku, v tomto případě byla použita metoda D8. Ta je pojmenována jednoduše podle toho, že z každého pixelu modelu terénu vypočítá směr odtoku do jednoho z osmi směrů. Nástroj 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 2023a). Schematický průběh výpočtu je možné vidět na obrázku 19.



OBRAZEK 19: SCHEMATICKÉ ZNÁZORNĚNÍ NÁSTROJE FLOW DIRECTION (ESRI 2023B)

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 2023c).



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

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 blízké-infračervené záření, a druhou poté červené záření. Zdravá vegetace, přesněji řečeno chlorofyl v ní, odráží více blízké-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 blízké-infračerveného záření. Proto se jejich hodnoty pohybují v mínusu nebo kolem nuly.

SAVI

Index SAVI je modifikovaný index NDVI. Tento index nabývá hodnot od 1,5 do -1,5 podle toho jakou hodnotu koeficientu L řešitel této rovnice zvolí. Vzorec na výpočet tohoto indexu můžete vidět níže na obrázku 22.

$$\left(\frac{\text{NIR} - \text{R}}{\text{NIR} + \text{R} + \text{L}} \right) * (1 + \text{L})$$

OBRÁZEK 22: VZOREC PRO VÝPOČET SAVI (USGS 2022)

K výpočtu tohoto indexu jsou použity stejné vrstvy odrazu jako u NDVI s jednou výjimkou, a to je koeficient L. Ten je v tomto vzorci použit pro zmenšení vlivu jasu půdy. Tento koeficient je většinou volen 0,5 (Anon. 2018c).

GNDVI

Jedná se o další variaci indexu NDVI. Stejně jako NDVI tento index nabývá hodnot -1 až 1. V tomto výpočtu je místo červeného pásma, pásmo zelené. Jinak se jedná o stejný postup výpočtu jako NDVI. Vzorec je vidět na obrázku 23 níže.

$$\frac{\text{NIR} - \text{green}}{\text{NIR} + \text{green}}$$

OBRÁZEK 23: VZOREC PRO VÝPOČET GNDVI (HUPEL A STÜTZ 2022)

Tento index se používá pro určení míry fotosyntetické aktivity. GNDVI je více citlivý index na zelenou barvu. Proto se také nazývá index zelenosti rostlin (ESRI 2023e).

NDRE

Posledním indexem je NDRE. Ten je znovu podobný NDVI a GNDVI. Rozdíl mezi nimi je že u indexu NDRE je místo zeleného a červeného pásma je použito pásmo RED EDGE. Jedná se o pásmo na hranici mezi červeným a blízké-infračerveným pásmem, kde odrazivost vegetace prudce stoupá. Proto je tento index používán například v zemědělství v pozdějších fázích růstu rostlin, kdy index NDVI již

nevykazuje takové změny ve svých hodnotách (Thompson et al. 2017). Rovnice na výpočet indexu NDRE je možné vidět na obrázku 24 níže.

$$NDRE = \frac{NIR - Red\ Edge}{NIR + Red\ Edge}$$

OBRÁZEK 24: VZOREC PRO VÝPOČET NDRE (THOMPSON ET AL. 2017)

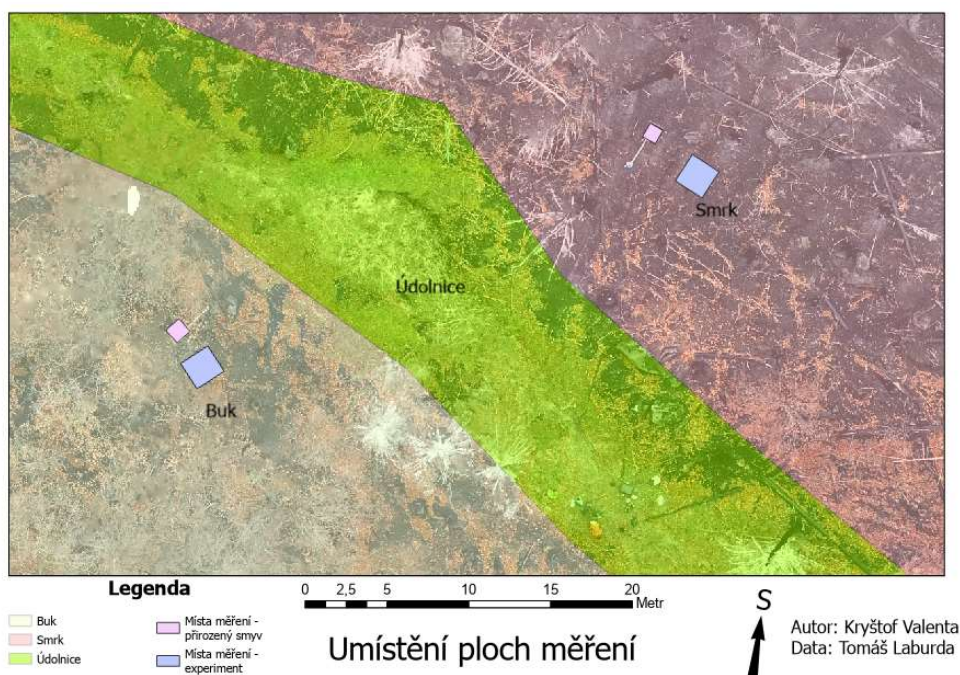
5 Výsledky

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 sublokalitami přirozeného bukového lesa a kůrovcem napadeného suchého smrkového porostu, 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 různých vegetačních indexů a porovnány metody získání modelů terénu. Pro výsledky z DPZ je následně důležitá také oblast údolnice, kde se kulminuje odtok.

5.1 Půdní charakteristiky a charakteristiky vzniklého smyvu

Nejprve jdou prezentovány výsledky půdních charakteristik zjištěných ze vzorků odebraných přímo na místě, dešťového simulátoru a trvale instalovaných ploch na zkoumání přirozeného smyvu. Byly také odebrány vzorky neshořelé půdy odebrané nedaleko zkoumané lokality jak v bukovém, tak smrkovém porostu. Na obrázku 25 můžete vidět umístění ploch, ze kterých byly vzorky odebírány.



OBRÁZEK 25: UMÍSTĚNÍ PLOCH MĚŘENÍ

V rámci půdních charakteristik byly na vzorkách měřeny dvě základní charakteristiky, a to zrnitost a TOC (Total Organic Carbon). Zrnitost byla měřena v hodnotách podsítného v 2, 10 a 50 μm (Kubínová 2019). výsledky TOC byly měřeny v procentech.

Podsítné 2, 10 a 50 μm značí procento z celého vzorku, které propadne imaginárními oky síta o zmíněné velikosti. Mastersizer 3000 ale v základu měří zrnitost jinak měří je pomocí Dx (10), Dx (50) a Dx (90). U Dx (10) výsledná hodnota značí velikost teoretického zrna, kdy 10 % ostatních zrn je menších než tato hodnota. Stejně je možné vysvětlit i ostatní hodnoty Dx (x). Hodnoty podsítného jde získat z mastersizeru přímo z okna Record view, kde se dá nastavit virtuální oko síta undersize podle výběru řešitele a následně exportovat záznamy do excelu.

Co se týče zrnitosti, tak 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 bez agregátů. Ve všech případech je také určena směrodatná odchylka značená v tabulkách jako 1xStd 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 a 3.

Co se týče TOC, tak výsledky jsou prezentovány v procentech zastoupení uhlíku ve vzorku. Z důvodu zpřesnění dat TOC, je (pokud to bylo možné) každý odebraný vzorek měřen třikrát. Z těchto tří dat je následně vypočítán průměr a tento výsledek je následně prezentován v této práci.

TABULKA 2: TABULKA PŮDNÍCH ZRNITOSTÍ VZORKŮ Z ODBĚRNÉHO MÍSTA SMRK

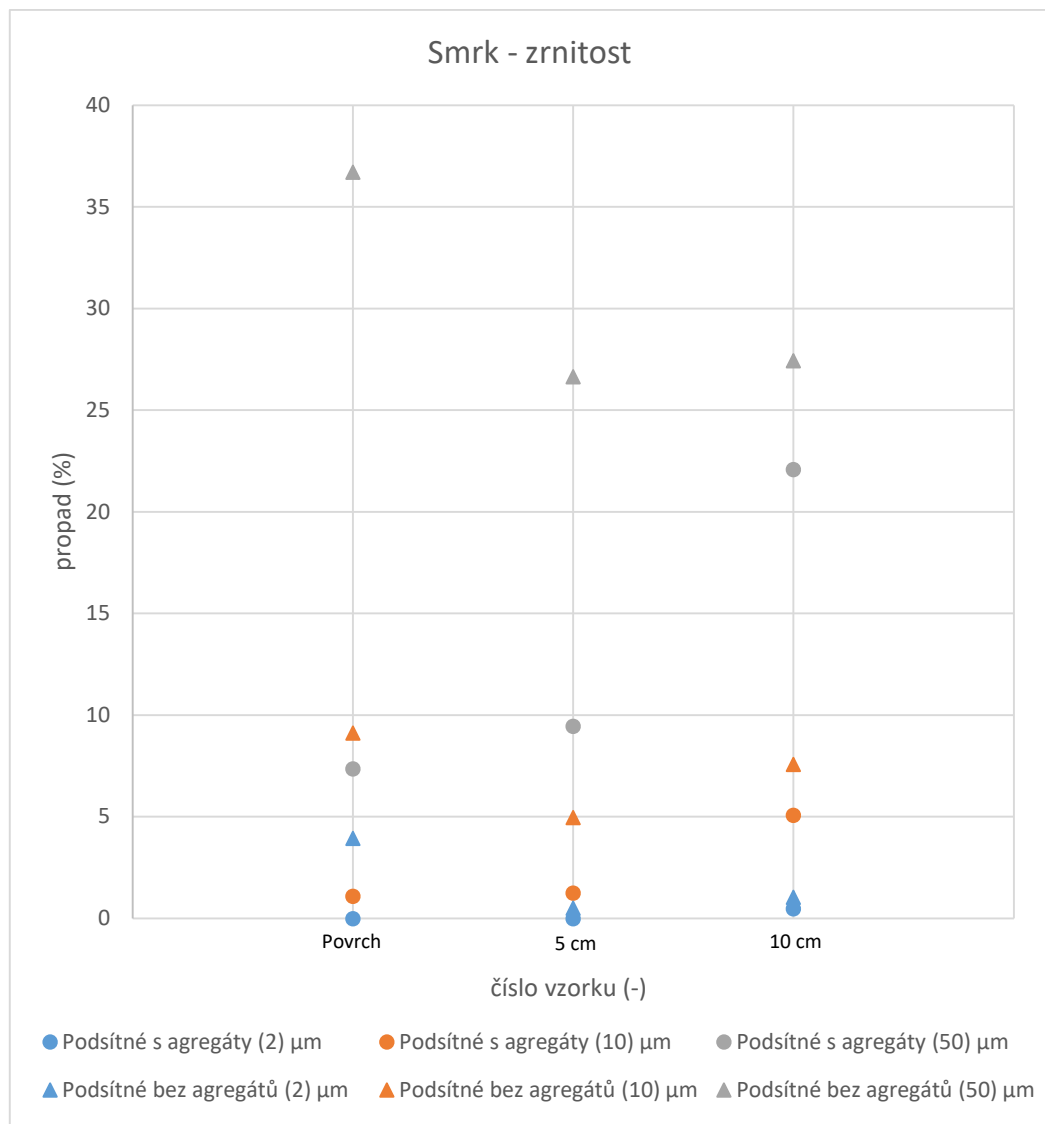
SMRK - TOP			SMRK - 5 cm					SMRK - 10 cm				
Číslo vzorku	Podsítné (2) μm	Podsítné (10) μm	Podsítné (50) μm	Číslo vzorku	Podsítné (2) μm	Podsítné (10) μm	Podsítné (50) μm	Číslo vzorku	Podsítné (2) μm	Podsítné (10) μm	Podsítné (50) μm	
1	0	1.06	7.11	1	0	1.27	9.56	1	0.4	4.46	19.72	
2	0	1.12	7.46	2	0	1.22	9.24	2	0.42	4.67	20.44	
3	0	1.18	7.89	3	0	1.2	9.03	3	0.54	5.41	23.39	
4	0	0.99	6.66	4	0	1.23	9.29	4	0.56	5.55	24.01	
5	0	1.16	7.75	5	0	1.36	10.21	5	0.53	5.29	22.88	
Mean	0.0	1.1	7.4	Mean	0.0	1.3	9.5	Mean	0.5	5.1	22.1	
1xStd Dev	0.0	0.1	0.5	1xStd Dev	0.0	0.1	0.5	1xStd Dev	0.1	0.5	1.9	
1RSD (%)	0.0	7.0	6.8	1RSD (%)	0.0	5.1	4.8	1RSD (%)	15.1	9.5	8.6	
Po rozbití												
21	4.02	9.21	36.75	21	0.51	4.83	25.89	21	0.97	7.33	26.69	
22	4.13	9.55	38.4	22	0.52	4.92	26.44	22	1.08	7.73	27.87	
23	3.71	8.56	34.41	23	0.52	4.98	26.71	23	1.07	7.65	27.67	
24	3.9	9.11	36.87	24	0.53	5.08	27.24	24	0.96	7.21	26.25	
25	3.97	9.2	37.19	25	0.53	5.03	26.98	25	1.17	7.99	28.73	
Mean	3.9	9.1	36.7	Mean	0.5	5.0	26.7	Mean	1.1	7.6	27.4	
1xStd Dev	0.2	0.4	1.4	1xStd Dev	0.0	0.1	0.5	1xStd Dev	0.1	0.3	1.0	
1RSD (%)	4.0	3.9	3.9	1RSD (%)	1.6	2.0	2.0	1RSD (%)	8.3	4.1	3.6	

TABULKA 3: TABULKA PŮDNÍCH ZRNITOSTÍ VZORKŮ Z ODBĚRNÉHO MÍSTA BUK

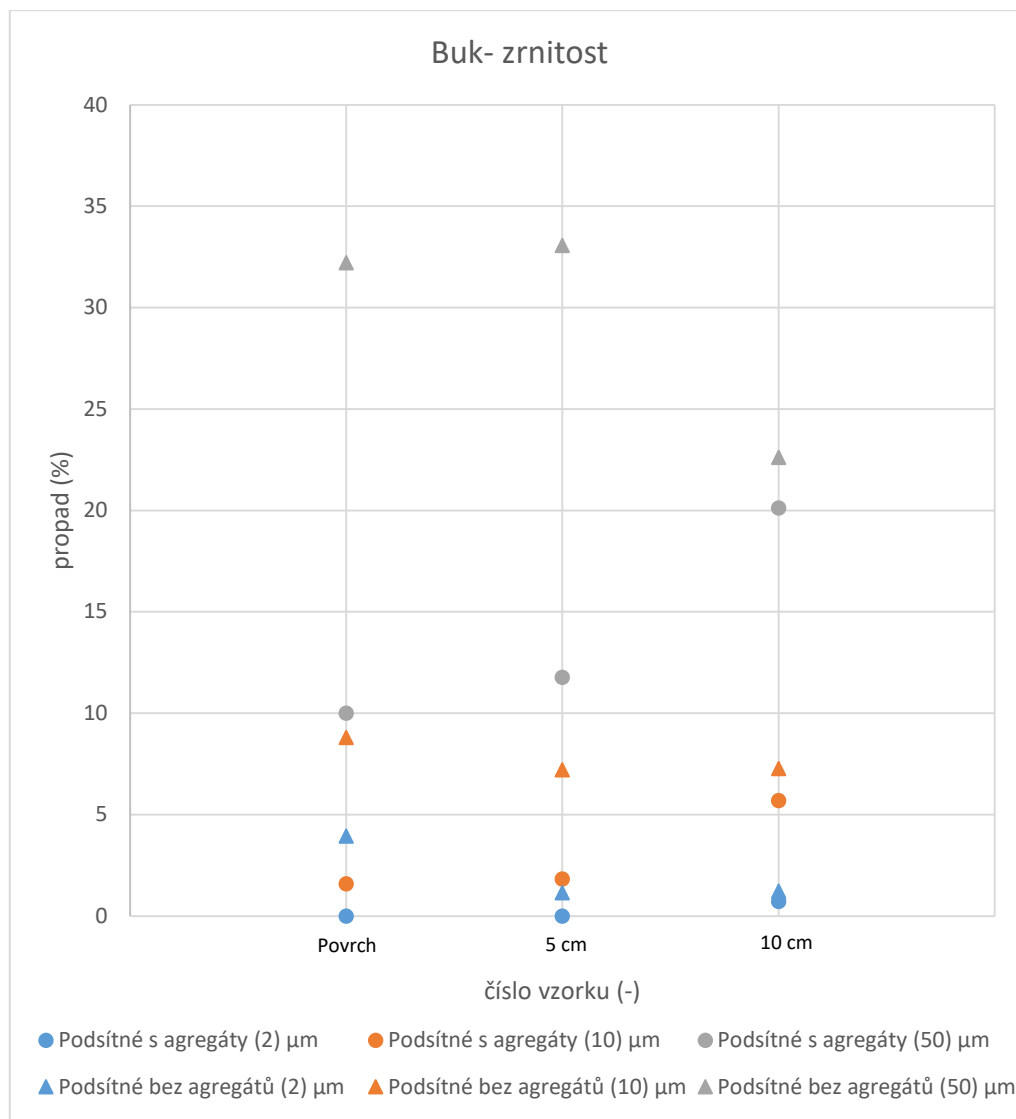
BUK - TOP			BUK - 5 cm					BUK - 10 cm				
Číslo vzorku	Podsitné (2) μm	Podsitné (10) μm	Podsitné (50) μm	Číslo vzorku	Podsitné (2) μm	Podsitné (10) μm	Podsitné (50) μm	Číslo vzorku	Podsitné (2) μm	Podsitné (10) μm	Podsitné (50) μm	
1	0	1.54	9.76	1	0	1.76	11.36	1	0.68	5.32	18.85	
2	0	1.58	9.97	2	0	1.82	11.73	2	0.73	5.81	20.56	
3	0	1.68	10.64	3	0	1.84	11.83	3	0.73	5.84	20.66	
4	0	1.53	9.64	4	0	1.79	11.5	4	0.7	5.63	19.92	
5	0	1.58	9.97	5	0	1.93	12.42	5	0.73	5.84	20.63	
Mean	0.0	1.6	10.0	Mean	0.0	1.8	11.8	Mean	0.7	5.7	20.1	
1xStd Dev	0.0	0.1	0.4	1xStd Dev	0.0	0.1	0.4	1xStd Dev	0.0	0.2	0.8	
1RSD (%)	0.0	3.8	3.9	1RSD (%)	0.0	3.5	3.5	1RSD (%)	3.2	3.9	3.8	
Potrozbítí												
21	3.98	8.93	32.74	21	1.13	7.13	32.68	21	1.1	6.78	21.24	
22	4.01	8.99	32.91	22	1.13	7.14	32.75	22	1.33	7.56	23.4	
23	3.92	8.73	31.86	23	1.18	7.45	34.14	23	1.26	7.44	23.14	
24	3.82	8.5	31.04	24	1.14	7.22	33.08	24	1.25	7.41	23.06	
25	3.98	8.88	32.49	25	1.13	7.14	32.7	25	1.21	7.14	22.22	
Mean	3.9	8.8	32.2	Mean	1.1	7.2	33.1	Mean	1.2	7.3	22.6	
1xStd Dev	0.1	0.2	0.8	1xStd Dev	0.0	0.1	0.6	1xStd Dev	0.1	0.3	0.9	
1RSD (%)	1.9	2.2	2.4	1RSD (%)	1.9	1.9	1.9	1RSD (%)	6.9	4.3	3.9	

5.1.1 Charakteristiky půdního pozadí

Z dat je patrné, že půda na obou stranách údolí není ihned po požáru nikterak výrazně rozdílná. Největší zrnitost pozorujeme na povrchu a čím se dostáváme hlouběji, tím více velikost zrn klesá. S hloubkou také klesá rozdíl mezi zrnitostí s agregáty a bez agregátů. Z těchto dat také vidíme, že agregátů s postupnou hloubkou ubývá. Výsledky jsou viditelné v podobě grafů na obrázcích 26 a 27.

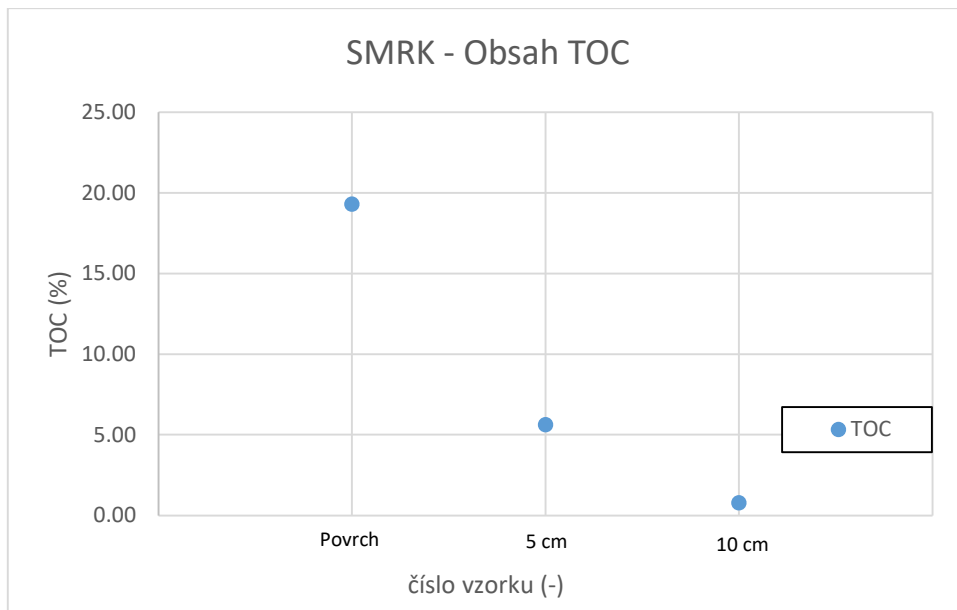


OBRÁZEK 26: ZRNITOST V HLOUBCE, SMRK

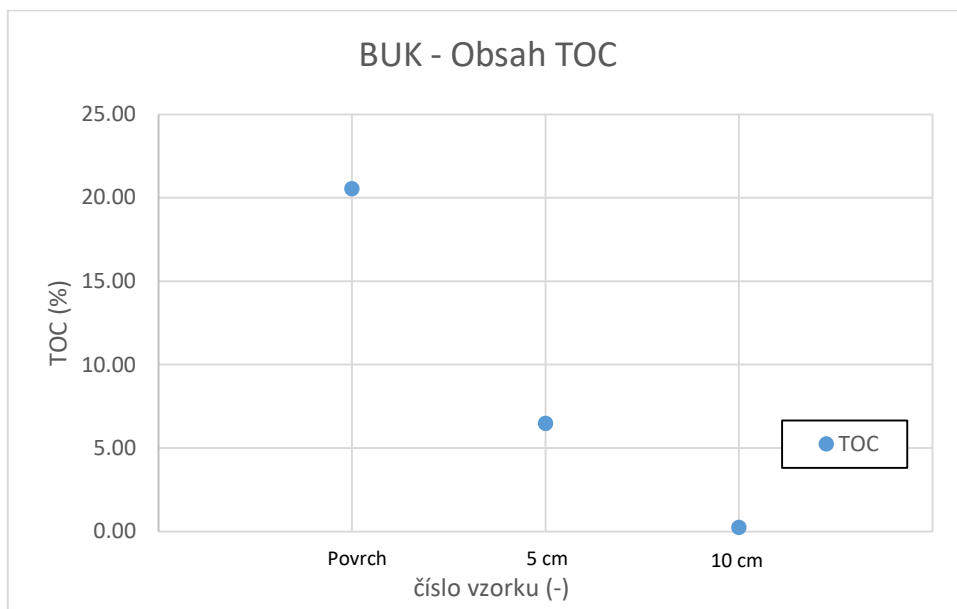


OBRÁZEK 27: ZRNITOST V HLOUBCE, BUK

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 podobné hodnoty 19,3 %, 20,6 % u stanovišť SMRK a BUK. Hodnoty TOC naměřené v 5 cm hloubce se také výrazně nelišili. U SMRKU byla naměřena hodnota 5,6 % a u BUKU 6,5 %. V hloubce 10 cm se již měřené hodnoty blíží nule, a to 0,77 % u vzorku z odběrného stanoviště SMRK a vzorek z odběrného místa BUK dokonce 0,27 %. Všechny výše popsané skutečnosti můžeme pozorovat v grafech TOC na obrázcích 28 a 29.



OBRÁZEK 28: OBSAH TOC, SMRK



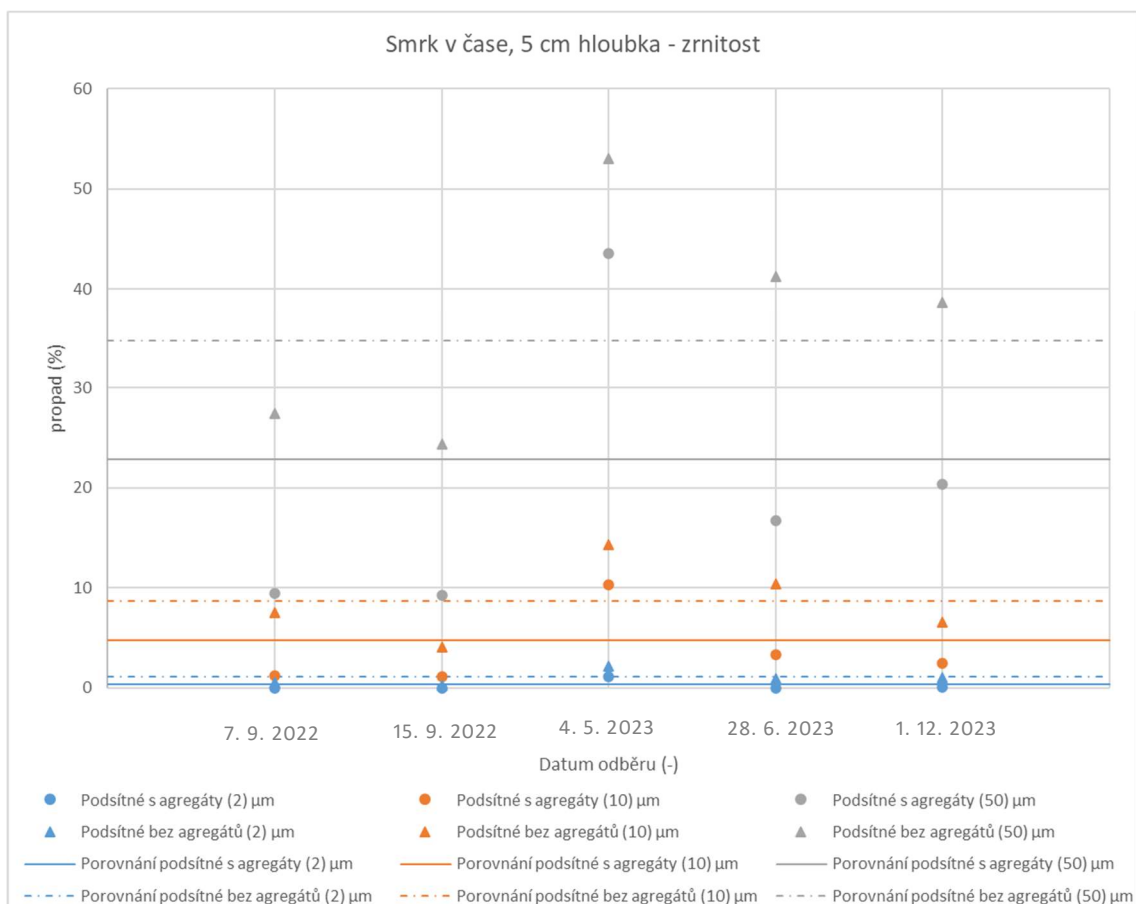
OBRÁZEK 29: OBSAH TOC, BUK

V rámci zrnitosti můžeme díky menším rozdílům mezi zrnitostí s agregáty a zrnitostí bez agregátů předpokládat méně organické hmoty ve větších hloubkách. To potvrzují hodnoty naměřeného TOC. Ty se také rapidně snižují s větší hloubkou. Tuto skutečnost můžeme pozorovat jak na grafech zrnitosti, tak na grafech s výsledky TOC.

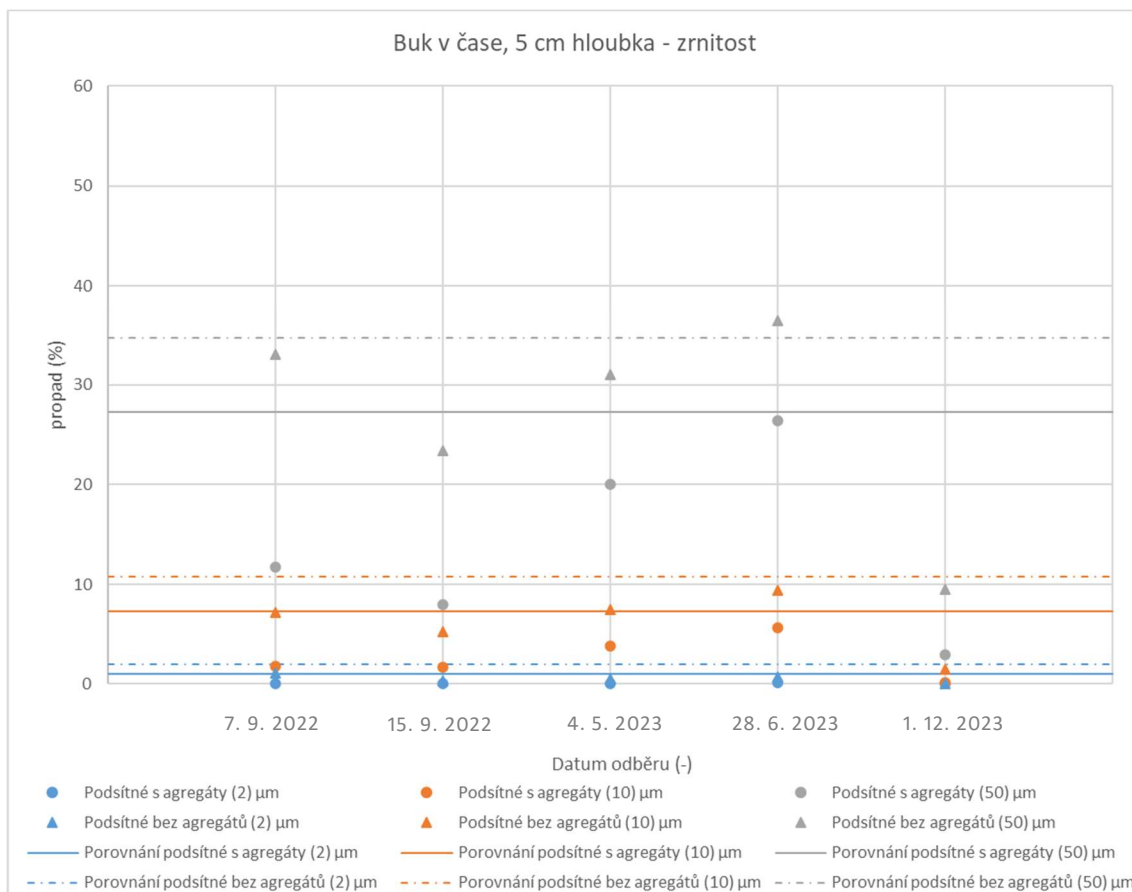
5.1.2 Vývoj půdních charakteristik

V rámci dlouhodobého měření byly průběžně odebírány půdní vzorky v hloubce 5 cm na obou stranách údolí. Na těchto vzorcích byla také měřena zrnitost a TOC. Zároveň jsou v grafech vyznačeny hodnoty zrnitosti neshořelé půdy. Také můžeme na grafech vidět kromě bodů s hodnotami zrnitosti v grafu také čáry. Tyto čáry zobrazují zrnitost vzorku nespálené půdy v 5 cm. Proto jsou v legendě grafu popsány jako porovnání.

Na obrázku 30 můžeme pozorovat vývoj zrnitosti na smrkové části údolí. Hodnoty se v čase dynamicky proměňují. Pokud porovnáme vzorky odebrané ze zkoumané lokality s porovnávacími vzorky vidíme, že se hodnoty zrnitosti k sobě stále více přibližují. Tento jev pozorujeme nejvýrazněji na největší frakci podsítného 50 μm .



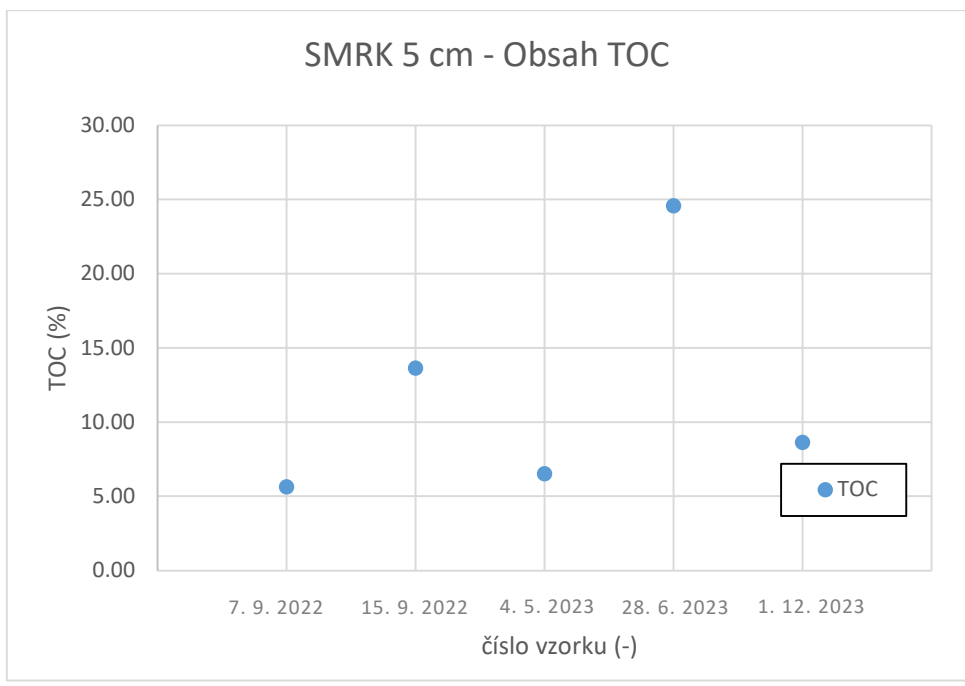
OBRÁZEK 30: VÝVOJ ZRNITOSTI V ČASE, SMRK 5 CM



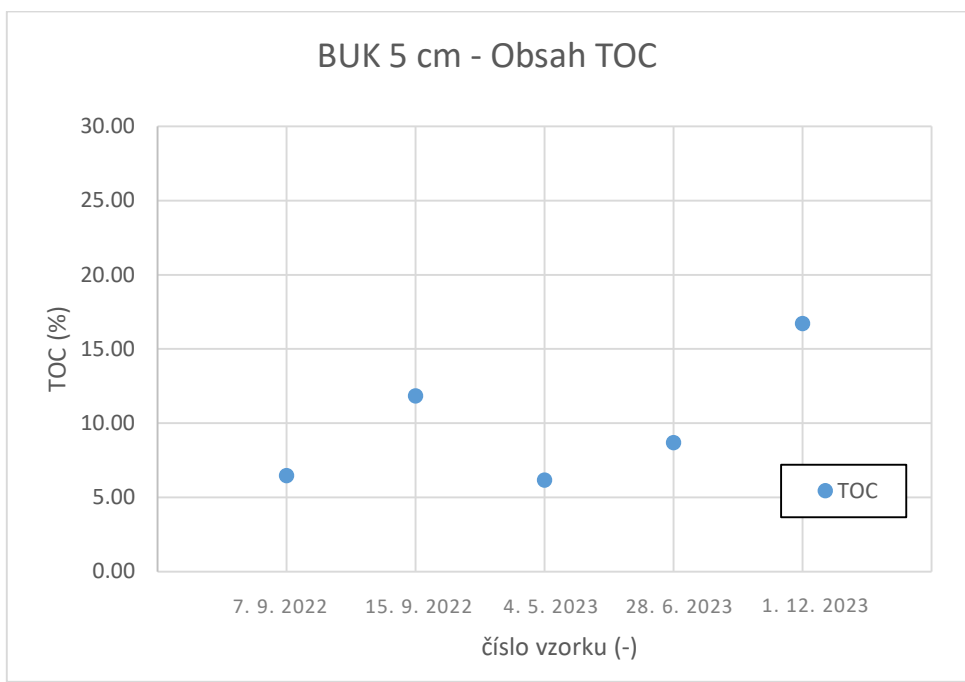
OBRÁZEK 31: VÝVOJ ZRNITOSTI V ČASE, BUK 5 CM

Na druhé straně můžeme na obrázku 31 pozorovat vývoj zrnitosti na bukovém porostu. Zde vidíme, že se hodnoty spálené půdy přibližují hodnotám nespálené půdy dříve a nepozorujeme tak rapidní vývoj.

Co se týče hodnoty TOC, tak ty se také měnili v čase. Na smrkové straně, můžeme pozorovat relativně velké výkyvy těchto hodnot, zatímco na bukové straně je vývoj TOC pozvolnější. I přes velké rozdíly mezi hodnotami, můžeme určit trend a ten říká, že TOC v půdě mírně přibývá. Výsledky v grafové podobě je možné vidět na obrázcích 32 a 33.



OBRÁZEK 32: VÝVOJ TOC V ČASE, SMRK 5 CM

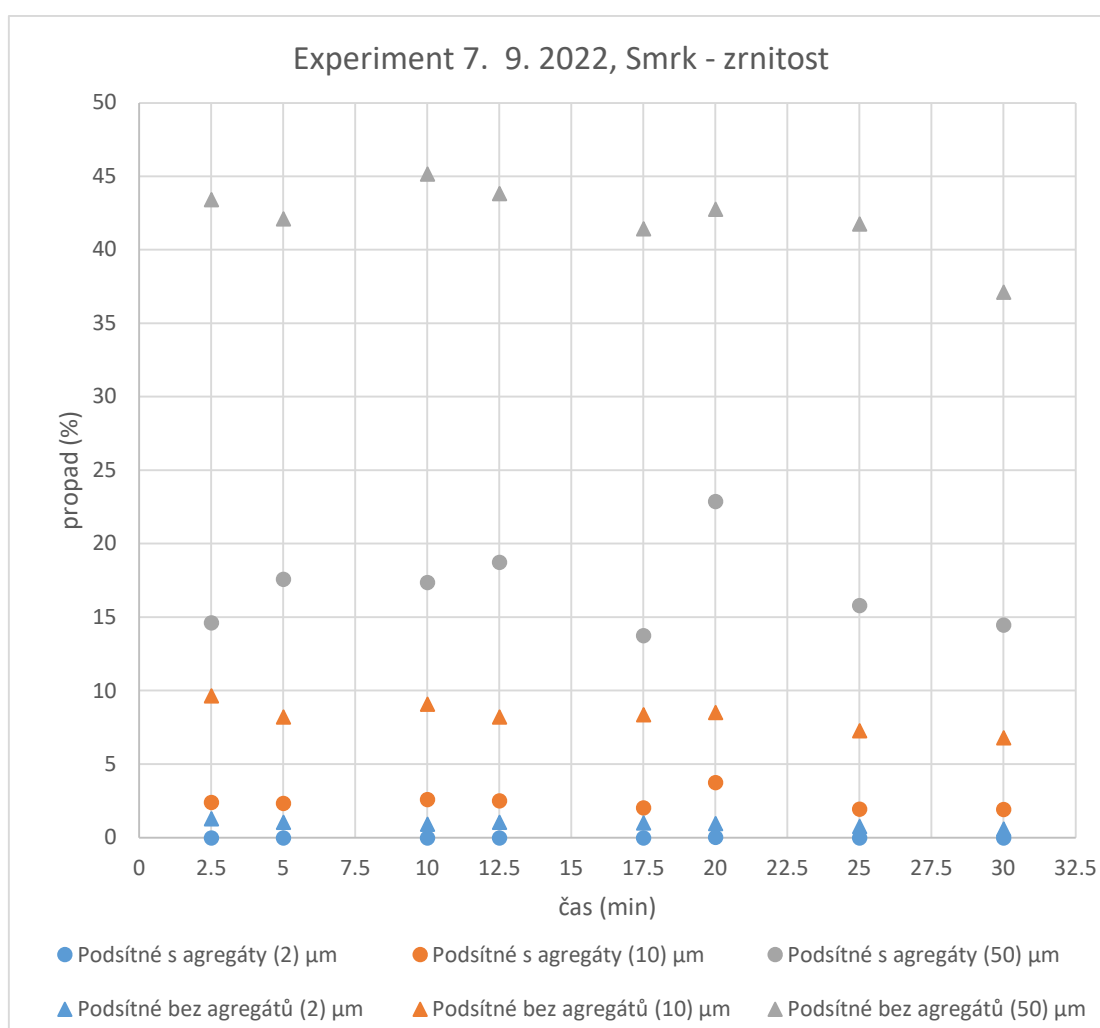


OBRÁZEK 33: VÝVOJ TOC V ČASE, BUK 5 CM

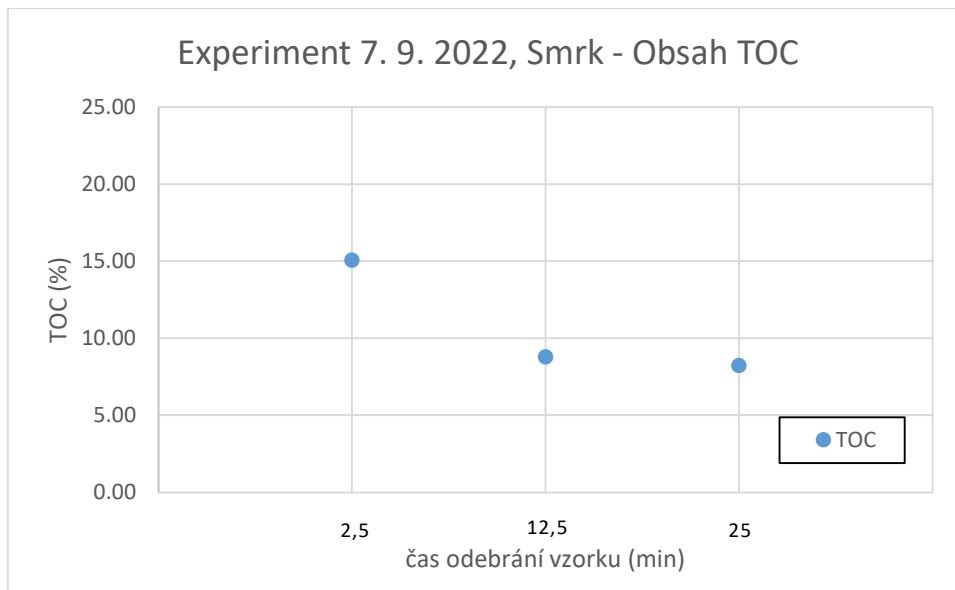
5.1.3 Experimentální dešťový simulátor

Celkem byly provedeny 4 experimenty. První dva experimenty byly zkušební na zjištění ideální intenzity deště a délky experimentu. Následující dva experimenty byly prováděny stejnou dobu, se stejnou intenzitou. V této práci jsou popsány pouze dva poslední experimenty, protože ty mají vypovídající hodnotu.

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.



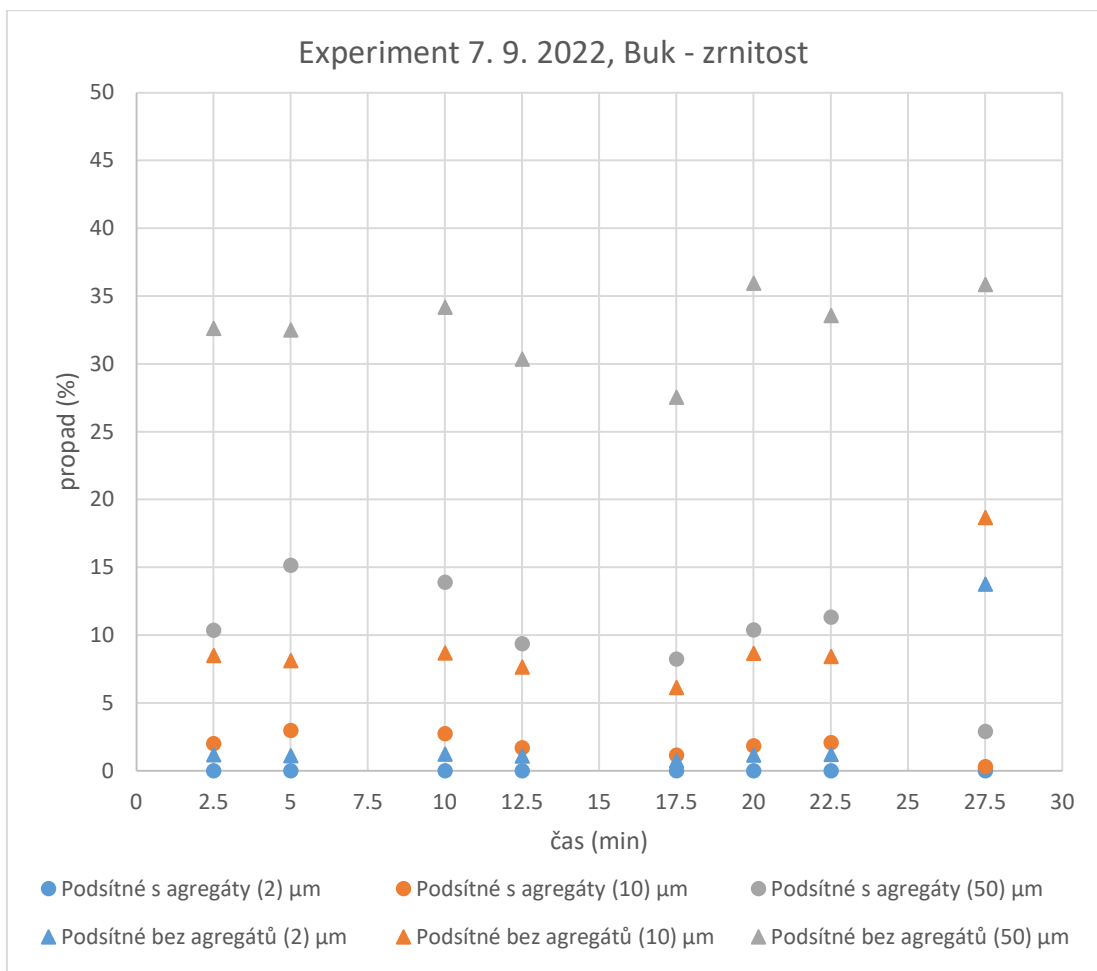
OBRÁZEK 34: ZRNITOST, EXPERIMENT 3 SMRK



OBRÁZEK 35: OBSAH TOC, EXPERIMENT 3 SMRK

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 34 vynechaná místa. Rozdíl mezi zrnitostí s agregáty a bez agregátů se postupně zmenšuje. Což naznačuje úbytek organické hmoty, která je potřebná na vytváření agregátů.

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 35. Průměrná hodnota TOC je spočítána na 10,69 %.

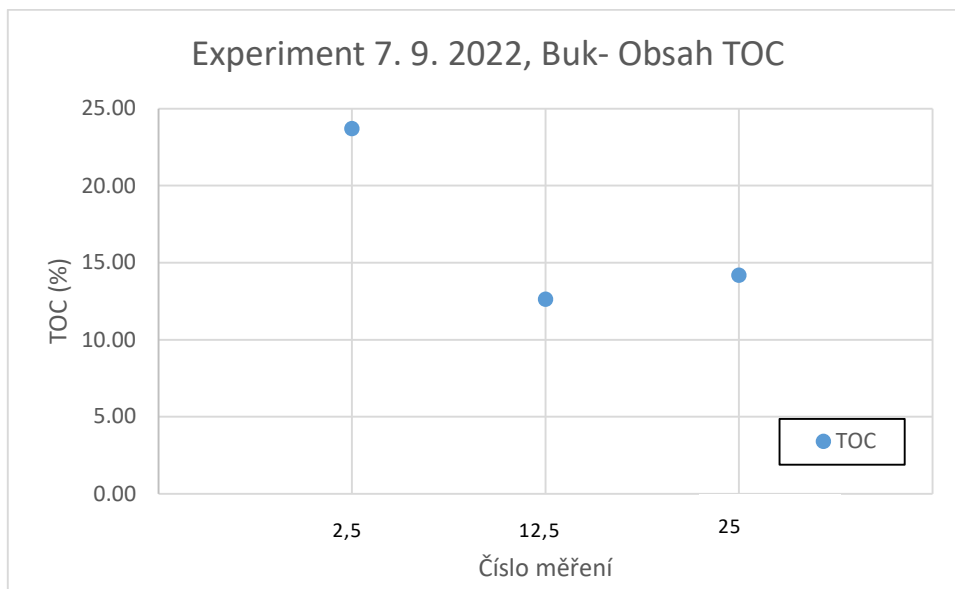


OBRÁZEK 36: ZRNITOST, EXPERIMENT 4 BUK

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 36. Tyto změny jsou obzvláště viditelné na podsítném 50 μm. Na bukové straně jsou tyto hodnoty menší o přibližně 5 % v hodnotách s agregáty a 10 % v hodnotách bez agregátů.

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 37.



OBRÁZEK 37: OBSAH TOC, EXPERIMENT 4 BUK

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. Experiment 3 (Smrk) ukazuje jasný pozvolný trend zmenšování zrnitostního složení.

Celkově můžeme tvrdit, že sediment z bukové stráně 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.

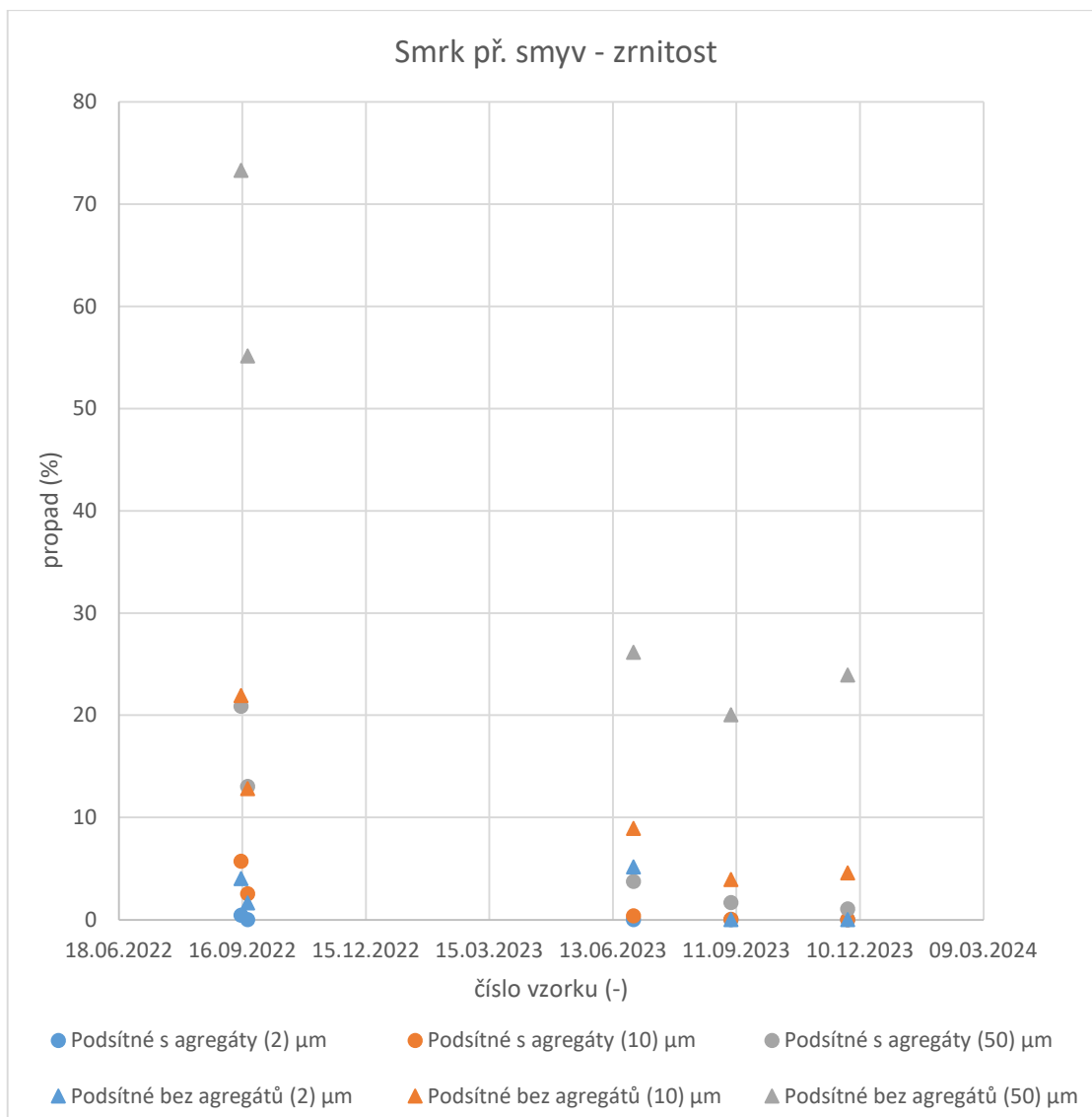
5.1.4 Přirozený smyv

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. Měřeno bylo celkem 5 vzorků. Vzorky přirozeného smyvu byly odebrány i v jiných datech, avšak sběrný barel byl buď převržen, nebo nebyl dostatek sedimentu k provedení analýz. Kdy byly vzorky přirozeného smyvu odebrány je možné vidět v tabulce 4. Srážky na celé lokalitě byly měřeny, ale data nejsou k dispozici.

Výsledky zrnitosti na smrkové stráni naznačují výrazné vyplavování agregátů ze začátku sledování experimentu. Zrnitost sedimentu na začátku stoupá až k 75 % v podsítném 50 μm z odběru ze dne 15. 9. 2022. Po týdnu z odběru dne 22. 9. 2022 je patrný rozdíl ve zmenšení propadu na všech zrnitostech. Tento výsledek je velmi ovlivněn požárem a vyplavováním smítek popela a uhlíků. Následné hodnoty zrnitosti se již snižují na nižší hodnoty, které se více přibližují reálným hodnotám. Výsledky je možné vidět na obrázku 38.

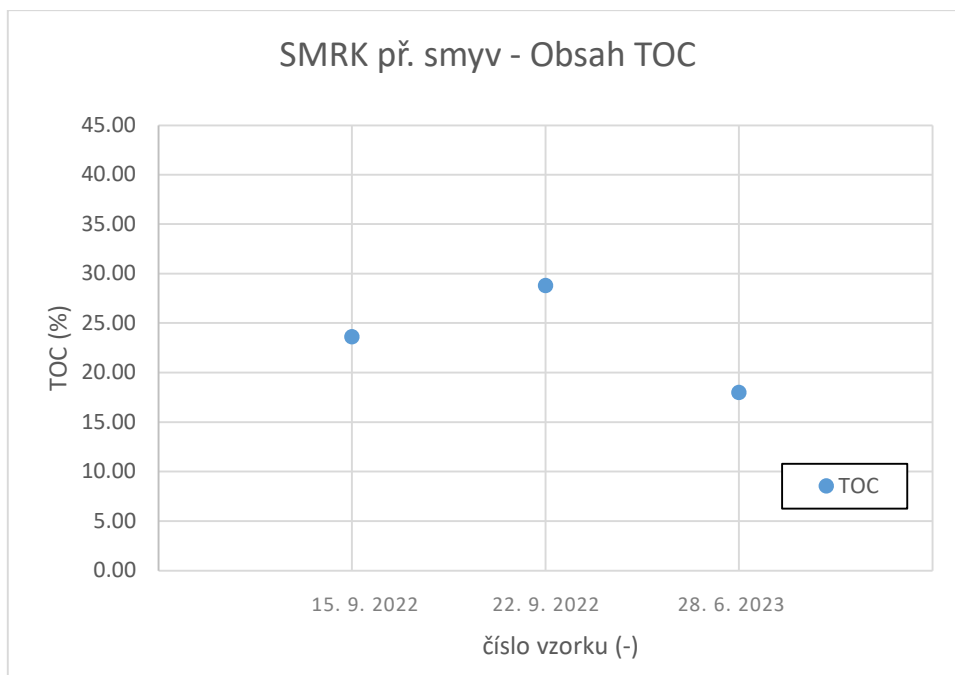
TABULKA 4: DATA ODBĚRŮ VZORKŮ PŘIROZENÉHO SMYVU

Data odběru vzorků přirozeného smyvu					
	15.09.2022	20.09.2022	28.06.2023	07.09.2023	01.12.2023
Smrk	•	•	•	•	•
Buk	•	•	•	•	•



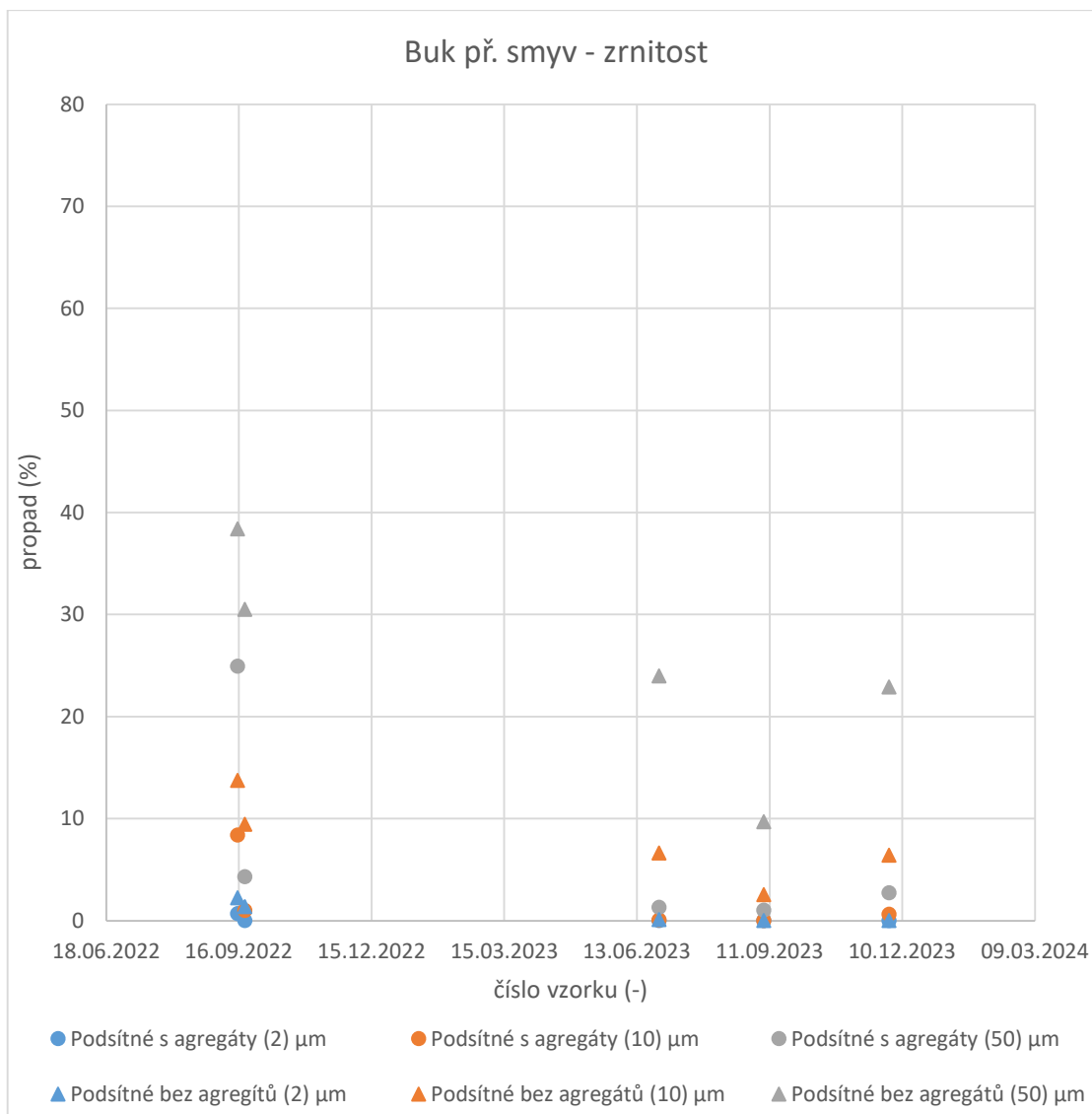
OBRÁZEK 38: ZRNITOST, PŘ. SMYV SMRK

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 %. Stejným způsobem byl změřen také třetí vzorek z 28. 6. 2023. Ten po přibližně roce vykazoval hodnoty 18,0 % TOC. Můžeme pozorovat snížení hodnot TOC také ve smyvu, což odpovídá prvotnímu velkému výplavu organické hmoty ovlivněné popelem ze spálených stromů. Výsledky TOC jsou vidět v grafu na obrázku 39.



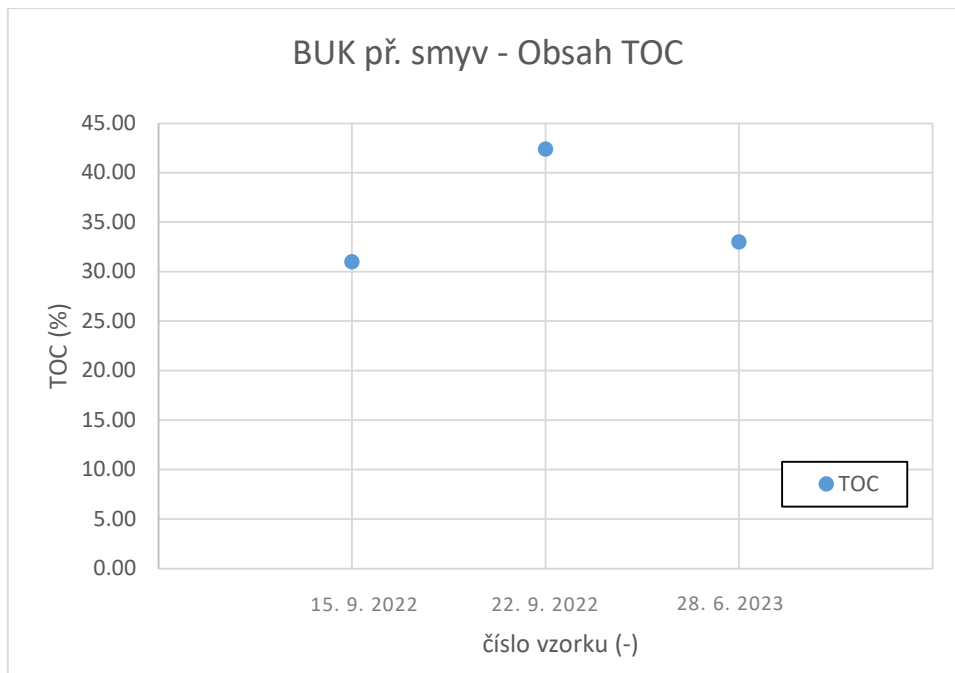
OBRÁZEK 39: OBSAH TOC, PŘ. SMYV SMRK

Zrnitost přirozeného smyvu na bukové straně je oproti smrkové řádově nižší. Tento jev můžeme pozorovat ale pouze na začátku měření na výsledcích odebraných vzorků z 15. 9. 2022 a 22. 9. 2022. U těchto vzorků jsou hodnoty na bukové straně dokonce dvakrát menší. Což vyznačuje výrazně větší velikost zrn právě na této straně stráně. S postupem času se hodnoty zrnitosti sobě navzájem čím dál více přibližují. Zde je vidět přímý důsledek totálního spálení smrkové strany a odolání ohni strany bukové. Zrnitost z přirozeného smyvu na bukové straně je možné vidět na obrázku 40.



OBRÁZEK 40: ZRNITOST, PŘ. SMYV BUK

Hodnoty TOC neodpovídají vysokým hodnotám rozdílu zrnitosti s agregáty a zrnitosti bez agregátů. 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. Následně byl měřen také třetí vzorek a to z 28. 6. 2023. I tento vzorek byl měřen pouze jednou, a to z důvodu malého množství sedimentu. Výsledné hodnoty je možné pozorovat na obrázku 41 níže.



OBRÁZEK 41: OBSAH TOC, PŘ. SMYV BUK

Z těchto měření vidíme, že je sice zrnitostní složení sedimentu z přirozeného smyvu na bukové straně nižší, 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 Odtokové dráhy akumulace

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 42, 43 a 44 je možné tuto změnu pozorovat.



0 2,5 5 10 15 20 Metr S

Erozní rýhy příp. 1. - 7. 9. 2022

Autor: Kryštof Valenta
Data: Tomáš Laburda

OBRÁZEK 42: EROZNÍ RÝHY 7. 9. 2022



0 2,5 5 10 15 20 Metr S

Erozní rýhy příp. 1. - 15. 9. 2022

Autor: Kryštof Valenta
Data: Tomáš Laburda

OBRÁZEK 43: EROZNÍ RÝHY 15. 9. 2022



0 2,5 5 10 15 20 Metr S

Erozní rýhy příp. 1. - 5. 12. 2022

Autor: Kryštof Valenta
Data: Tomáš Laburda

OBRÁZEK 44: EROZNÍ RÝHY 5. 12. 2022

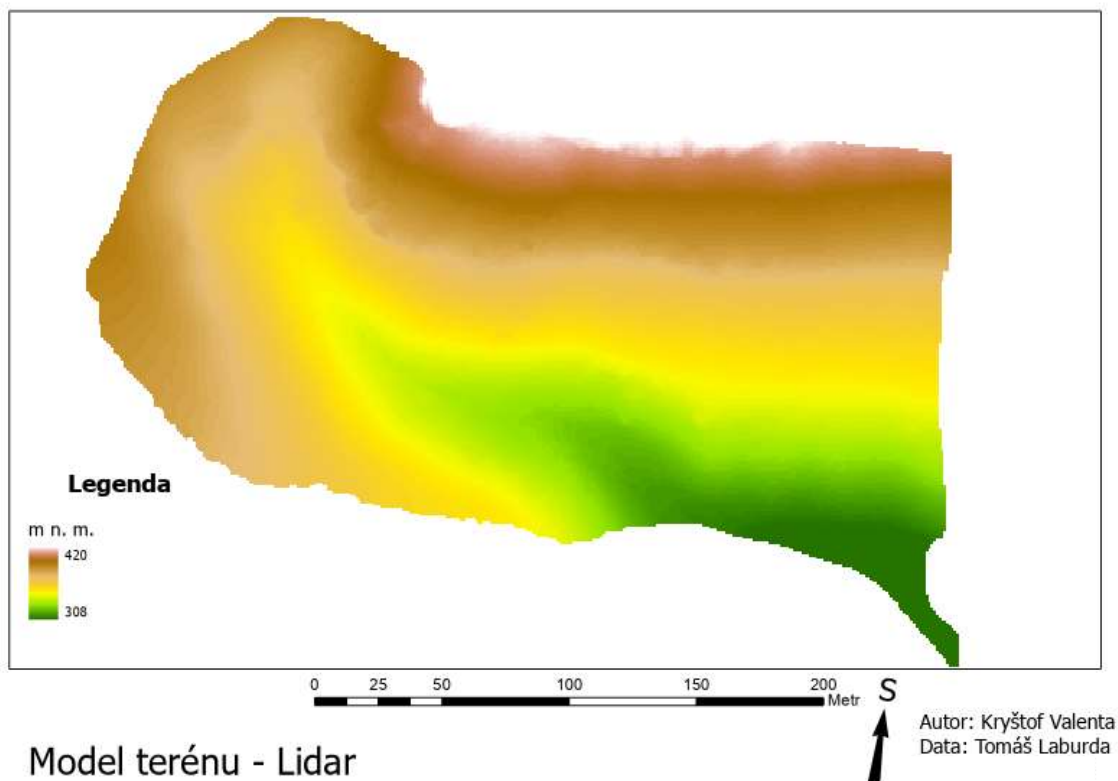
Tento jev nebyl pouze lokálního charakteru. Porovnána byla také další místa se stejným výsledkem. Jedná se o velmi zajímavý jev, který ale nebyl dále v této bakalářské práci zkoumán. Předpoklad, proč se tak může dít, je, že se postupně snižuje erozní aktivita, anebo erozní rýhy nebyly vytvořené přirozeným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

5.2.2 Porovnání metod DPZ

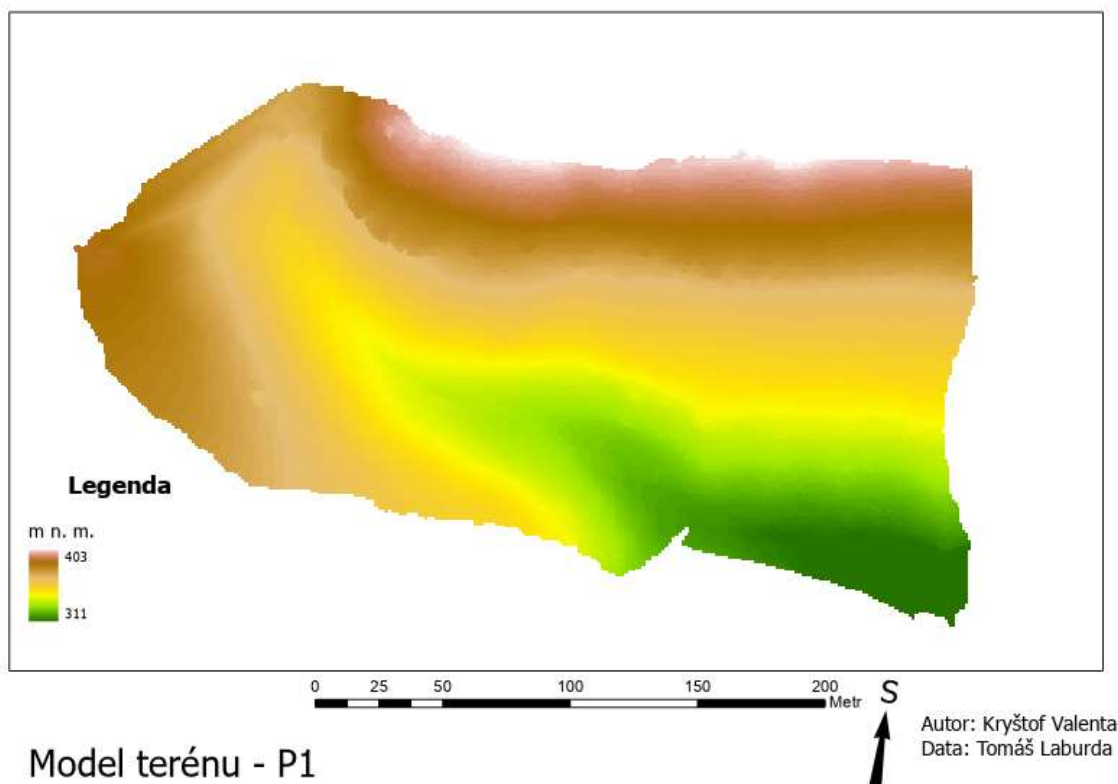
V rámci analýz bylo nutné vytvořit model terénu. Ten je vytvořen ze dvou vstupních dat. Prvními daty je výstup z náletu pomocí technologie LiDAR a druhými jsou již výše zmíněné ortofoto snímky. Z lidarového náletu vyšel model terénu. Z ortofoto snímků byl model terénu vyroben pomocí fotogrammetrie. Oba 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 45 a 46, můžeme vidět několik rozdílů, především ve tvaru a velikosti řešeného území.



OBRÁZEK 45: MODEL TERÉNU, LIDAR



OBRÁZEK 46: MODEL TERÉNU, P1

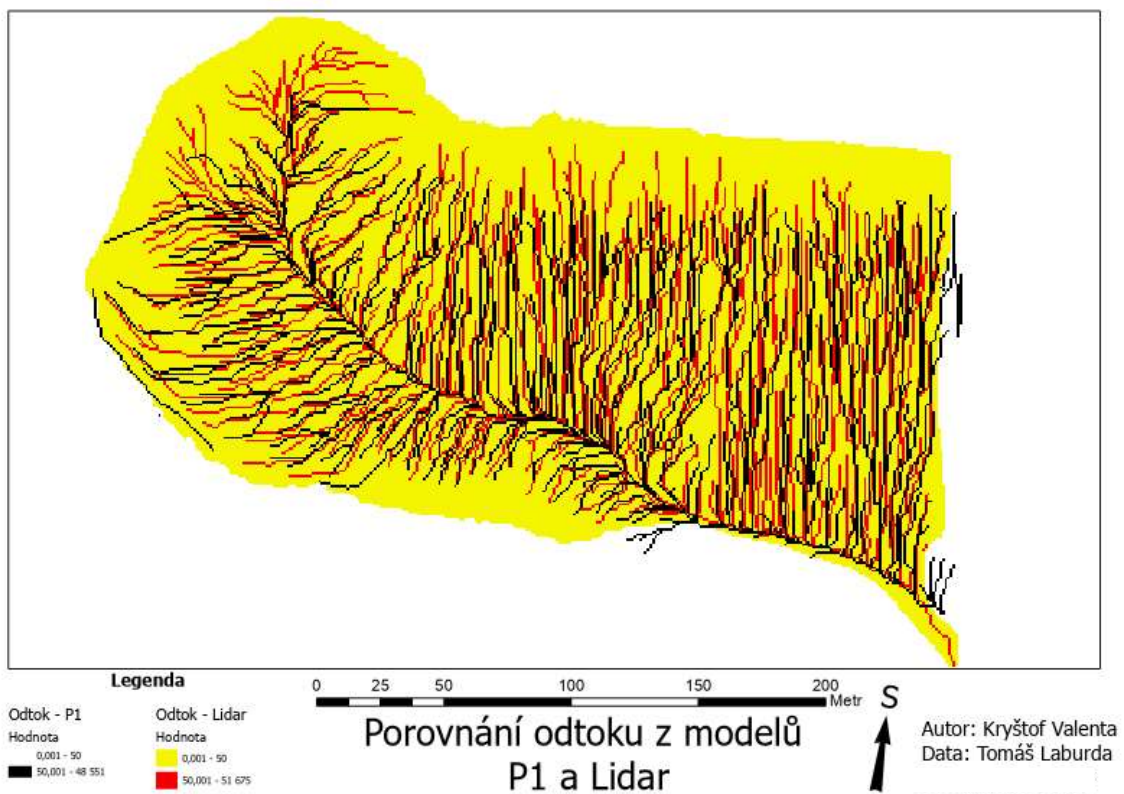
Z těchto dat není možné usoudit, který model terénu je přesnější. Pouze je poukazováno na fakt, že i při použití stejných nástrojů analýzy se modely mohou lišit v závislosti na zdrojových datech.

Odtok

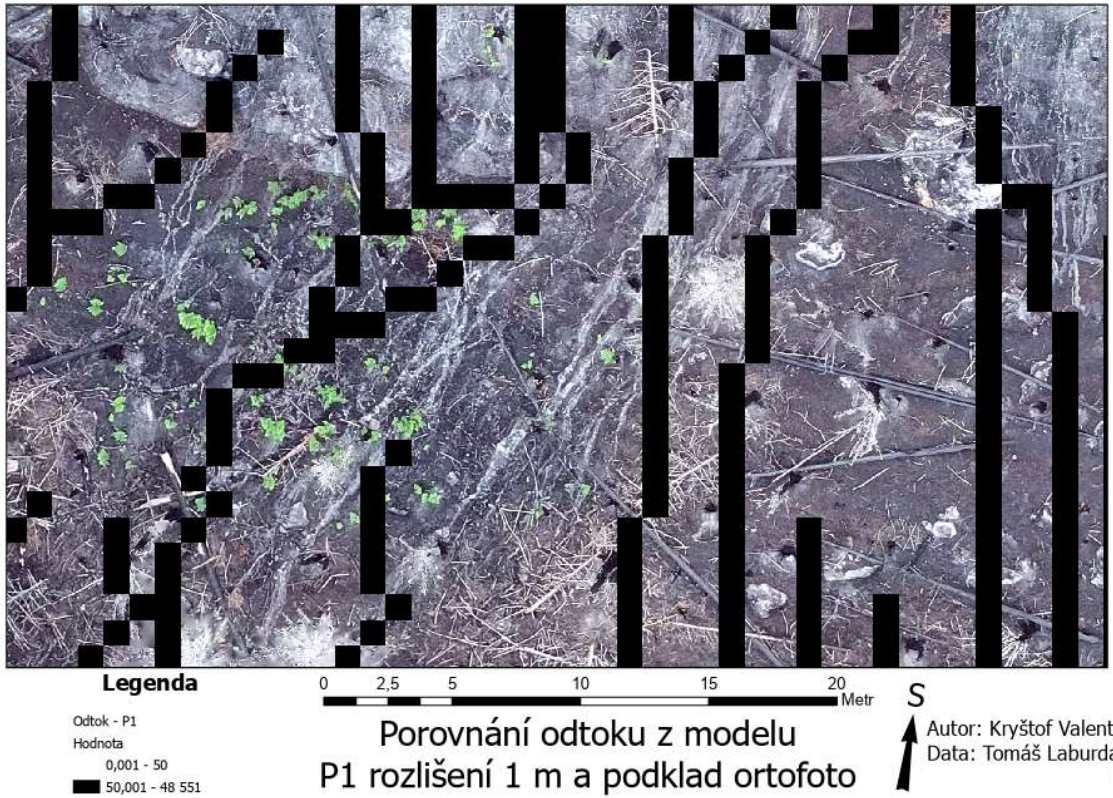
Dalším porovnávaným faktorem je odtok. Vrstvy z obou modelů terénu jsou srovnatelné. Předpokládaná místa s vyšším odtokem se lehce lišila. Nelze tvrdit, že by jeden z modelů byl nepřesný, ale rozdíly jsou patrné. Je také možné pozorovat rozdíly ve velikosti modelů. Výsledky jsou porovnány tak, že přes vrstvu odtoku spočítaného na datech LiDARu je vyobrazena vrstva odtoku z modelu vyrobeného pomocí fotogrammetrie. Obě vrstvy odtoku můžeme vidět níže na obrázku 47.

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

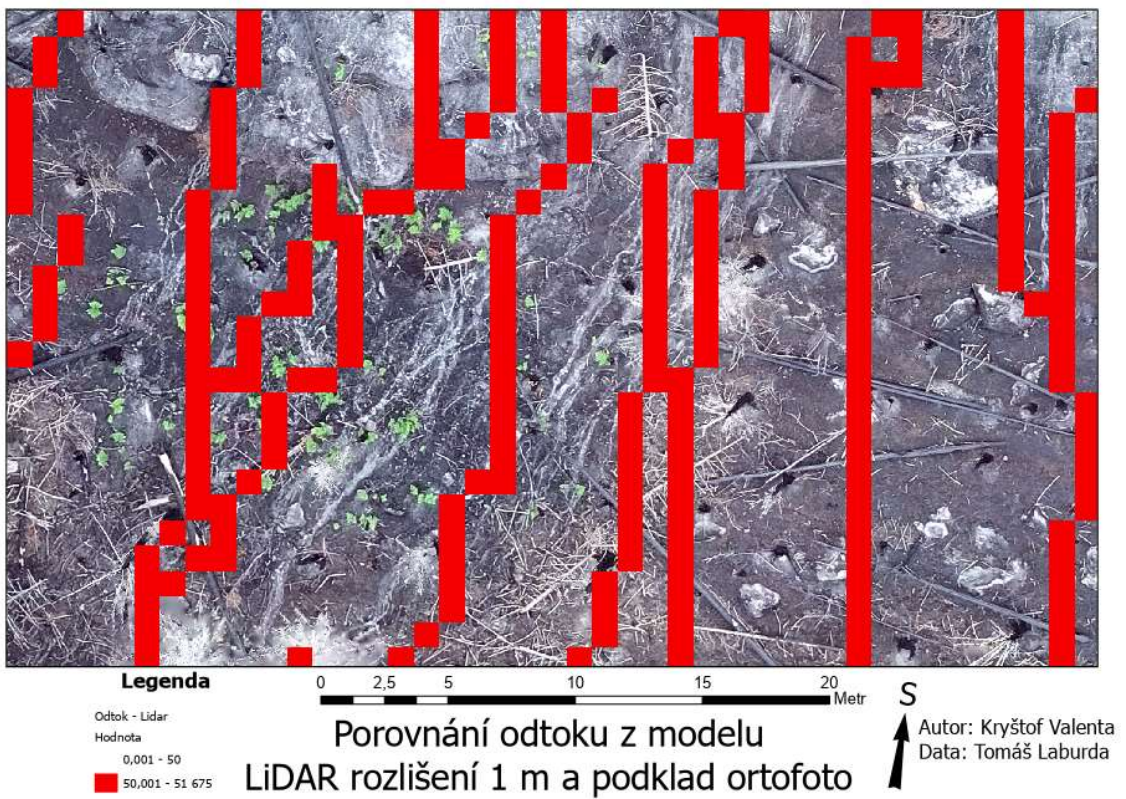
rýhy tak modely odrážejí sporadicky. Porovnané ortofoto s modelem vytvořeným fotogrammetrií je možné vidět na obrázku 48 a model z LiDARu na obrázku 49.



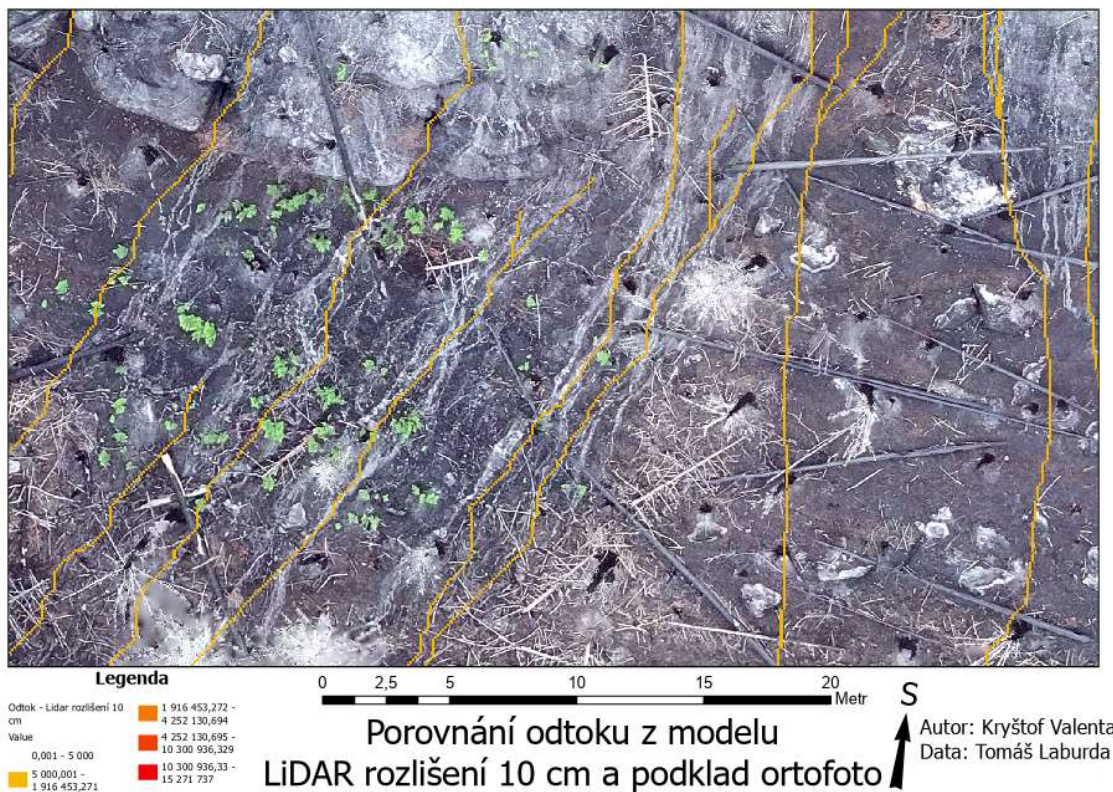
OBRÁZEK 47: POROVNÁNÍ ODTOKŮ, P1 A LIDAR



OBRÁZEK 48: POROVNÁNÍ ODTOKU Z MODELU P1 A ORTOFOTA



OBRÁZEK 49: POROVNÁNÍ ODTOKU Z MODELU LIDAR A ORTOFOTA



OBRÁZEK 50: POROVNÁNÍ ODTOKU MODELU LIDAR ROZLIŠENÍ 10 CM A ORTOFOTA

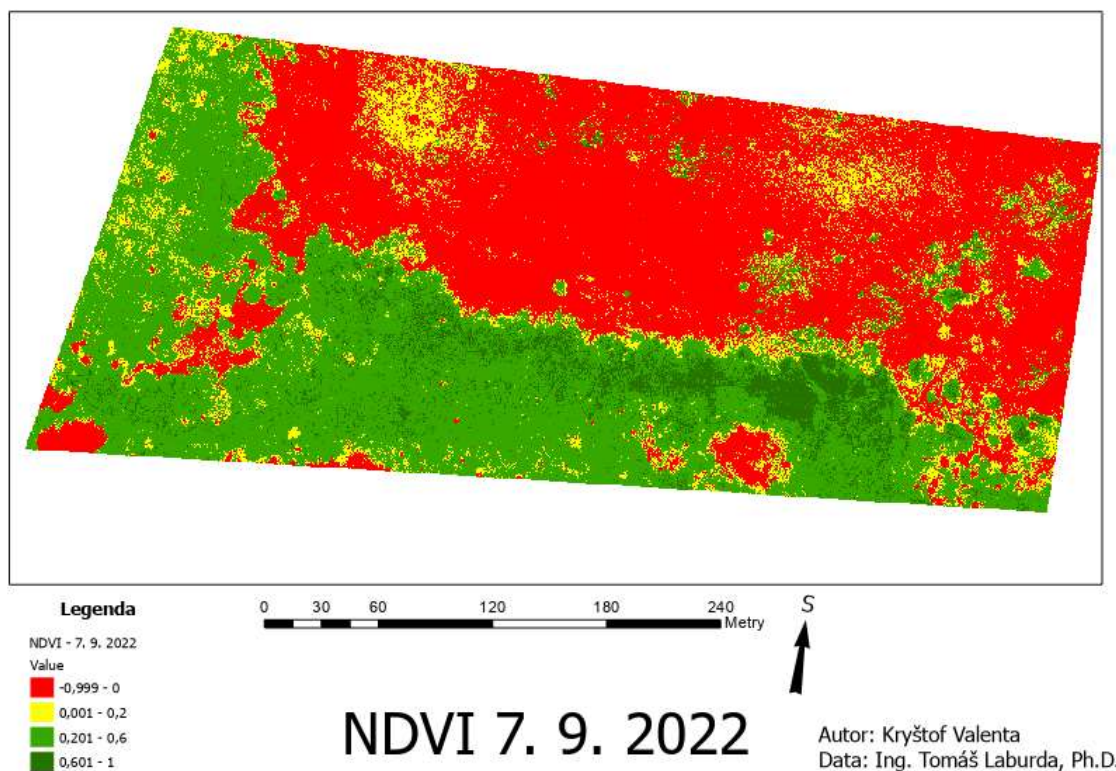
Pokud použijeme model jemnější s rozlišením jednoho pixelu 10 cm, výsledky již více odpovídají nafocenému stavu. Ty můžeme pozorovat na obrázku 50. Pokud chceme vymodelovat konkrétní erozně ohrožená místa na menších územích, model terénu s menšími pixely je vhodnějším vstupem.

5.2.3 Vegetační indexy

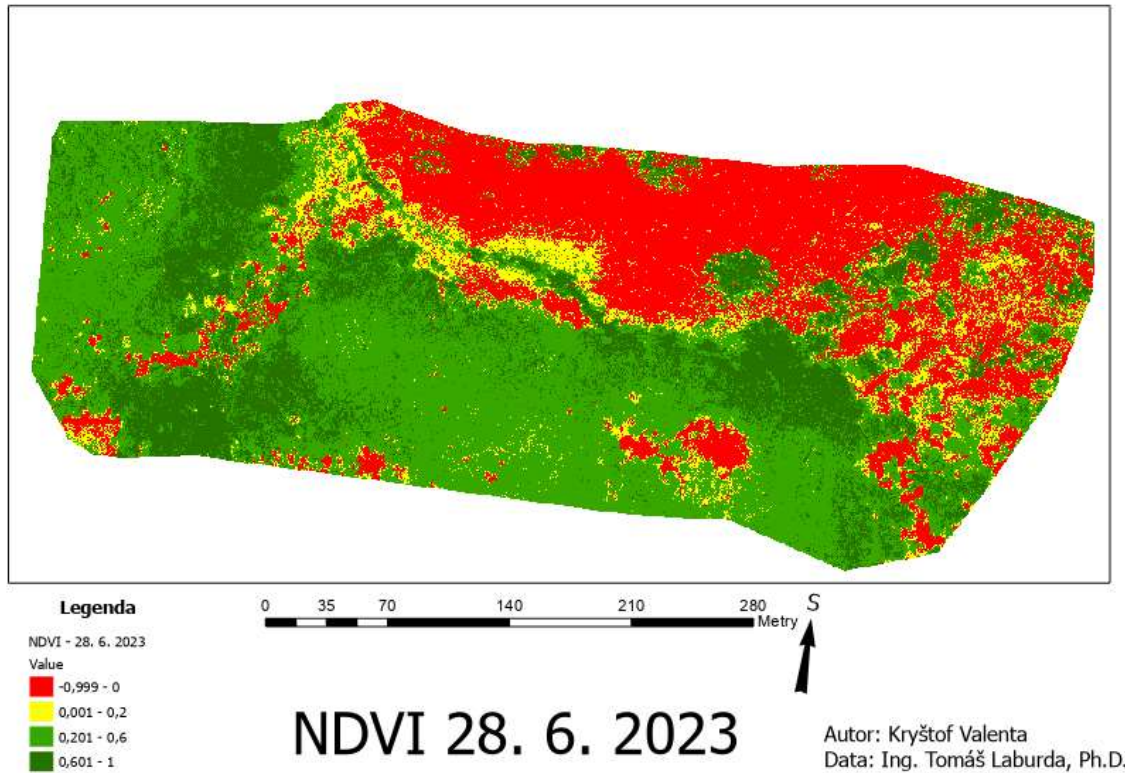
V rámci zjištění návaznosti mezi erozí a obnovou vegetace byly pořízeny multispektrální snímky celé oblasti. Na nich je vypočítáno několik vegetačních indexů. Tyto nálety byly také pořízeny celkem v pěti datech. Zpracovány byly všechny nálety, ale v této podkapitole jsou porovnávány dva nálety, první a poslední. Vypočítány byly celkem čtyři různé indexy: NDVI, SAVI, GNDVI a NDRE. Hlavním určujícím vegetačním indexem je v rámci této práce brán index NDVI. Ostatní indexy byly vypočítány, kvůli porovnání metodik a výsledků.

NDVI

Jak je vidět z letného 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 (červeno žlutě) 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. Červenější ostrůvky naopak značí lokální spáleniště i v bukovém lese nebo mezery mezi stromy. Na druhém snímku nevidíme žádné velké červené plochy, způsobené ohněm. Dále je také možnost na druhém snímku vidět výraznější obnovu vegetace na této stráni, na bukové straně, a i v údolnici (zelená barva). První snímek s hodnotami NDVI z 7. 9. 2022 můžeme vidět na obrázku 51 a z 28. 6. 2023 na obrázku 52.

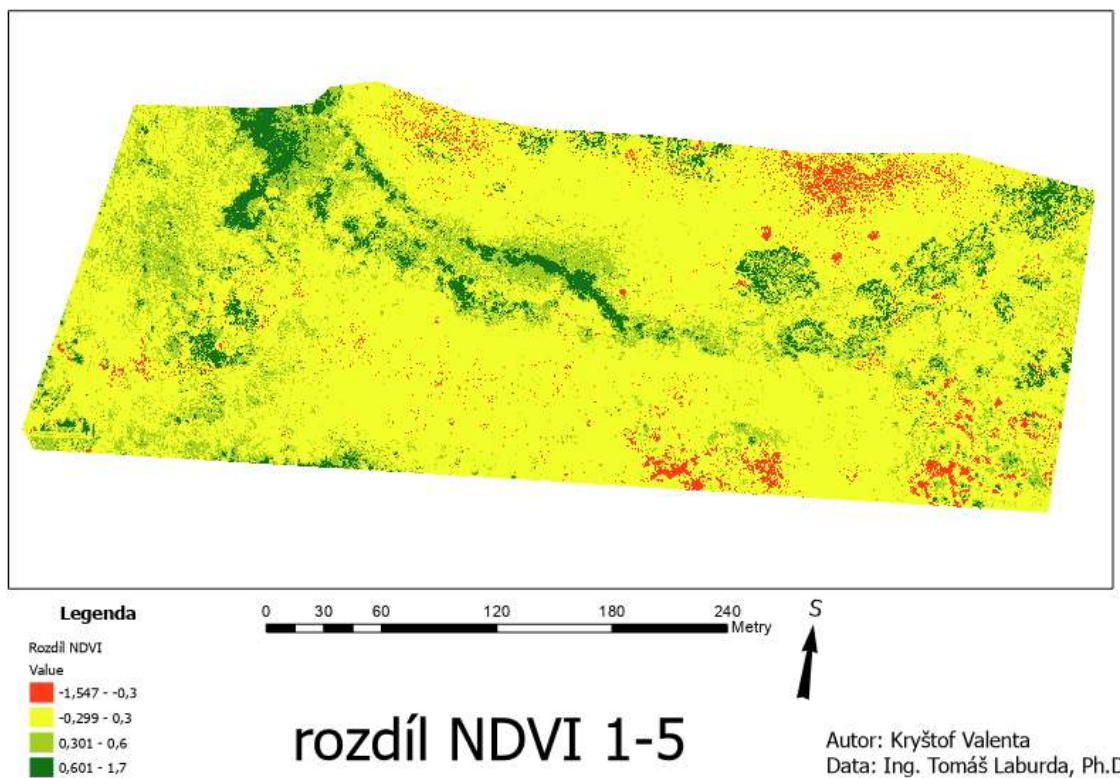


OBRÁZEK 51: HODNOTY NDVI – 7. 9. 2022



OBRÁZEK 52: HODNOTY NDVI – 5. 12. 2022

Vrstvy NDVI byly od sebe následně odečteny, aby byl měřitelný rozdíl mezi vegetací ihned po požáru a obnovenější vegetací s časovým odstupem na obrázku 53. 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.

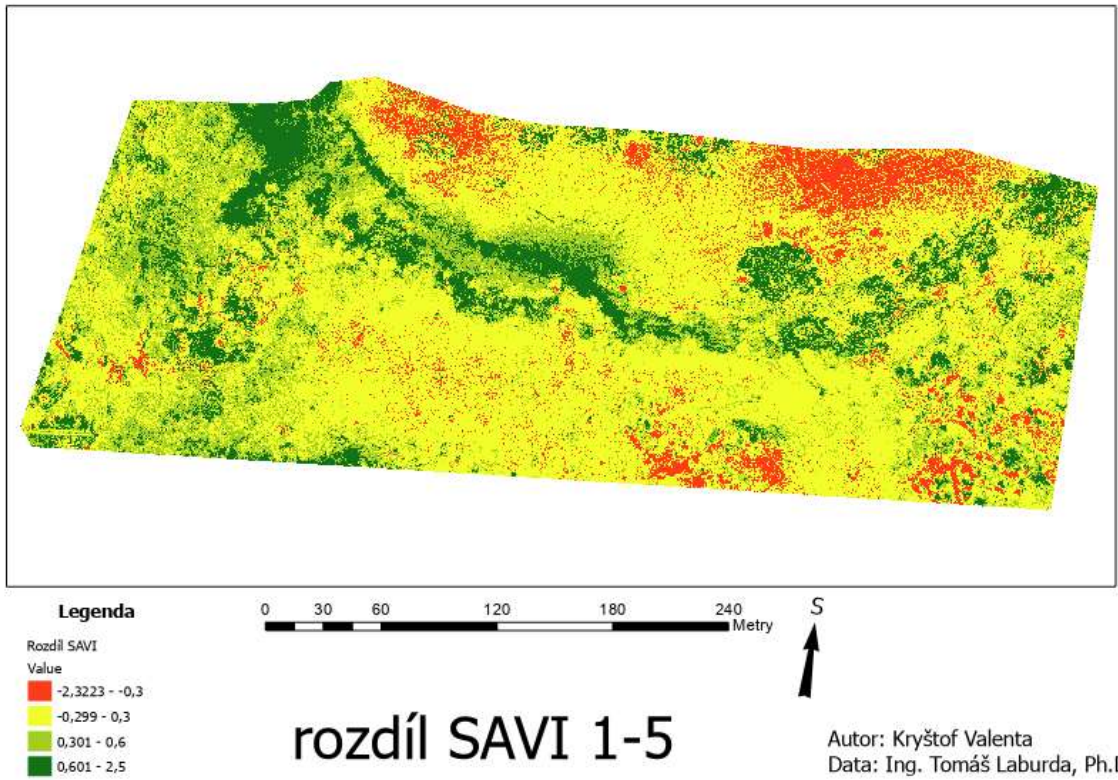


OBRÁZEK 53: ROZDÍL NDVI PRVNÍHO A POSLEDNÍHO NÁLETU

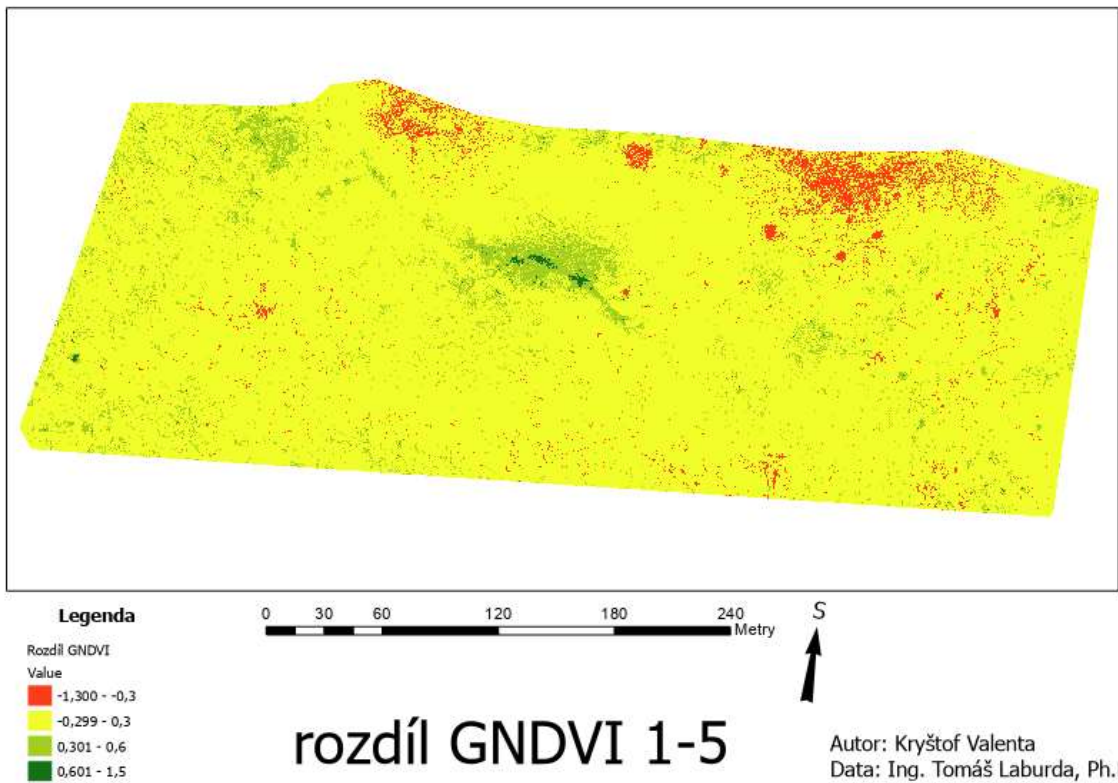
Ostatní vegetační indexy

Dále byly v rámci této práce vypočítány další vegetační indexy. Protože tyto indexy nejsou pro tuto práci tak důležité, jsou v následující části porovnány pouze rozdíly hodnoty těchto indexů a rozdíl hodnot NDVI.

Prvním indexem je SAVI. Hodnoty tohoto indexu jsou v širších mezích, než u NDVI jak můžeme vidět na obrázku 54. To je dáno hlavně metodikou výpočtu. Pokud se ale na výsledky rozdílu SAVI podíváme v porovnání s rozdílem NDVI, tak můžeme pozorovat podobné výsledky. Hodnoty rozdílu indexu SAVI nabývají větších hodnot, a tedy i výraznějších barev. Toto je znovu způsobeno metodou výpočtu.

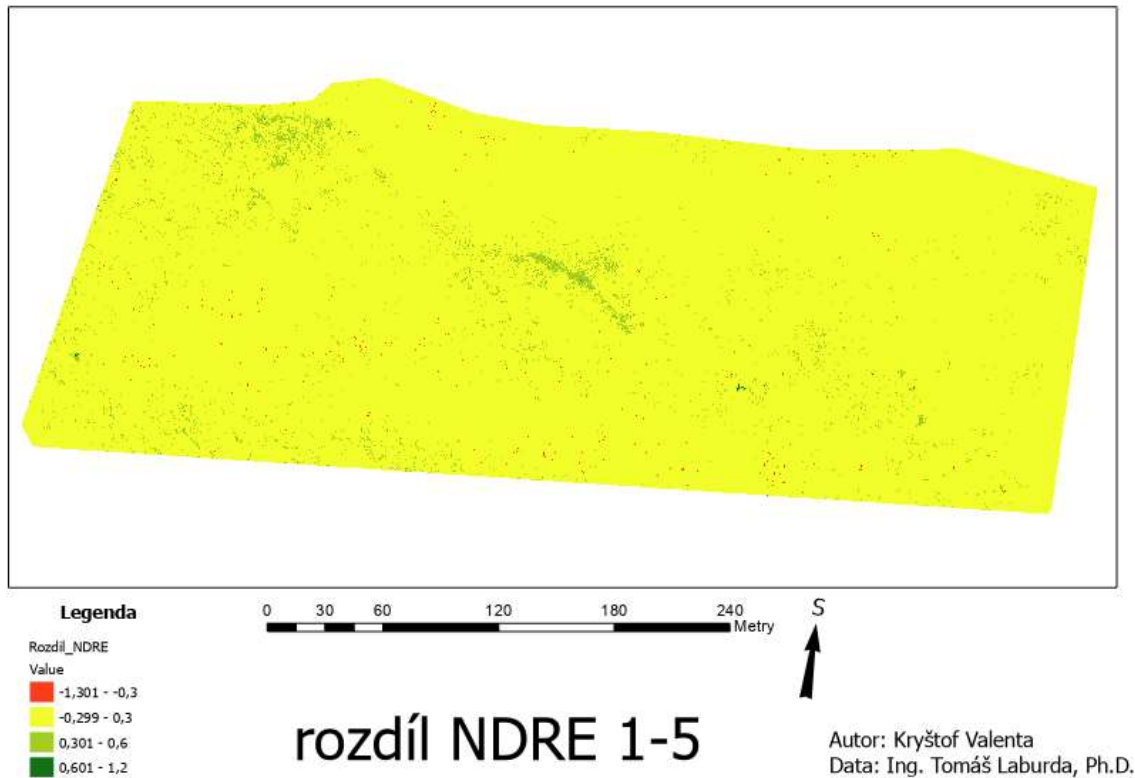


OBRÁZEK 54: ROZDÍL HODNOT SAVI



OBRÁZEK 55: ROZDÍL HODNOT GNDVI

Dalším indexem je index GNDVI. V porovnání s předchozími výsledky je rozdíl GNDVI výrazně jemnější a méně výrazný, jak je vidět na obrázku 55. Proto není tento index dle mého názoru tak vhodný pro tento typ analýz vegetace.



OBRÁZEK 56: ROZDÍL HODNOT NDRE

Stejný názor mám i na výsledky indexu NDRE. Výsledná mapka na obrázku 56 je ještě méně výraznější než mapka GNDVI, tudíž má v tomto případě nejnižší průkaznou hodnotu než index NDVI.

Celkově výsledky z NDVI a dalších indexů naznačují postupnou obnovu půdy a vegetace. Tato obnova se z pohledu NDVI nezdá být výrazná na smrkové stráni, ale na hranicích s bukovým porostem a v údolnici výrazná relativně je.

6 Závěr

V rámci zpracovávání této práce byly zjištěny a prozkoumány půdní charakteristiky lesní půdy po požáru, jejich vývoj stejně jako 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 drah odtoku a zjištěna souvislost mezi odtokem a obnovou vegetace.

Zrnitostní složení pomohlo pochopit změny v agregátové struktuře 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 propadu 50 μm se před rozbitím pohybovaly v rozmezí 20,12 % až 22,09 %. Po rozbití bylo rozpětí větší. Hodnoty zrnitosti se pohybovali mezi 22,16 % 27,44 %. Hodnoty TOC se na povrchu pohybovaly 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 na mobilním dešťovém simulátoru, tak brán v potaz byl pouze třetí a čtvrtý experiment. U experimentu číslo 3 provedeném na smrkové straně jsme mohli pozorovat větší rozdíl mezi zrnitostí s agregáty a bez agregátů na začátku experimentu než na konci. To značí vyšší vyplavování organické složky na začátku experimentu, 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. Experiment 4 prováděný na bukové straně tento klesající trend rozdílu zrnitosti také potvrzoval. Tento jev odrážela také hodnota TOC. Ze začátku experimentu byla naměřena hodnota 23,7 % a na konci hodnota 14,2 %. Toto postupné snižování smyvu organické hmoty je vysvětlitelné prvotním smyvem lehkých popelavých částic bohatých na organickou hmotu.

Přirozený smyv vykazoval v obou měřených vlastnostech smyvu vysoký obsah TOC. U trvale instalované plochy na smrkové straně ze začátku hodnoty

zrnitosti propadu 50 μm nabývali velice vysokých hodnot. V prvním měření ze dne 15. 9. 2022 bylo dokonce podsítné 50 μm po rozbití agregátů 73,31 %. Na bukové straně byl tato hodnota výrazně nižší a to 38,41 %. Hodnoty TOC byly měřeny také na obou místech a vždy ukázaly vyšší hodnoty než u vzorků z experimentu. Hodnoty TOC u smrkové části řešeného území dosahovaly 28,8 %. Na bukové straně jsme mohli pozorovat hodnot ještě vyšší a to 31,0 % až 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 výrazně morfologicky členitých 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 objevuje výrazně v údolnici mezi bukovou a smrkovou stranou. Z výsledků vyplývá, že souvislost mezi erozí a obnovou vegetace nastává, ale až ve větším měřítku, a ne v lokálních erozních rýhách na smrkové straně, což byla jedna z hypotéz práce. Pokud se podíváme na rozdíl hodnot NDVI, kterými byl tento jev sledován, tak vidíme lokální obnovu na smrkové stráni a obzvláště v údolnici a na bukové straně v blízkosti údolnice.

Tato práce ukázala možnosti zkoumání vývoje půdy po shoření 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

BUČEK, Antonín a LACINA, Jan. Geobiocenologie II: geobiocenologická typologie krajiny České republiky. 1999. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2007. ISBN 978-80-7375-046-6.

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

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

GNDVI—ArcGIS Pro | Documentation. Online. , ESRI. ESRI. ArcGIS Pro. 2023e. Dostupné z: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/arcpy/image-analyst/gnvdi.htm>. [cit. 2023-05-21].

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

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

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

HOTTMAROVÁ, Aneta. Život po kůrovci v národním parku České Švýcarsko. Bakalářská práce. V Liberci: Technická univerzita v Liberci, 2022.

HUBOVÁ, Petra. 4.cvičení - Metody stanovení zrnitosti. 2017.

HUPEL, Tobias a STÜTZ, Peter. Adopting Hyperspectral Anomaly Detection for Near Real-Time Camouflage Detection in Multispectral Imagery. Remote Sensing. 2022, roč. 14, č. 15, s. 37-55.

KUBÍNOVÁ, Romana. Zrnitostní složení rýhové eroze. Diplomová práce. Praha: České vysoké učení technické - Fakulta stavební, 2019.

LABURDA, Tomáš; KAVKA, Petr; ZUMR, David; JEŘÁBEK, Jakub; VRÁNA, Michal et al. Workshop moderních technologií geomatiky SVK Telč 2022 Monitoring požářiště NP České Švýcarsko pomocí DPZ. Fsv - Katedra 143, 2022.

LIU, Xiaoye. Airborne LiDAR for DEM generation: some critical issues. *Progress in Physical Geography*. 2018, roč. 1, č. 32, s. 31-49.

MINZ, Prashant Saurabh a SAINI, Charanjiv Singh. RGB camera-based image technique for color measurement of flavored milk. *Measurement: Food*. 2021, roč. 1, č. 4, s. 10-16. ISSN 2772-2759.

NAVIN, Sam a LOGANATHAN, Agilandeeswari. Multispectral and hyperspectral images based land use / land cover change prediction analysis: an extensive review. *Multimedia Tools and Applications*. 2020, roč. 79, č. 39-40, s. 29751-29774.

SNĚHOTA, Michal. Zadání laboratorního cvičení č. 4 z Pedologie. 2021.

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

ŠARAPATKA, Bořivoj. Pedologie a ochrana půdy. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. ISBN 978-80-244-3736-1.

ŠTĚPÁNEK, Jakub. Vyhodnocování spektra slunečního záření. Diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2015.

THOMPSON, Laura J.; SHI, Yeyin a FERGUSON, Richard B. Getting Started with Drones in Agriculture. 2017. Dostupné z: <https://extensionpublications.unl.edu/assets/html/g2296/build/g2296.htm>. [cit. 2024-01-07].

WADINGER, Ulla. Introduction to Lidar. Springer Series in Optical Sciences. 2005, roč. -, č. 102, s. 1-18.

WESTOBY, Matthew J.; BRASINGTON, James; GLASSER, Niel F.; HAMBREY, Michael J. a HAMBREY, John M. 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*. 2012, roč. -, č. 179, s. 300-314. ISSN 0169-555X.

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

Overview of Agricultural Indices – MicaSense Knowledge Base. Online. MicaSense. 2023. Dostupné z: <https://support.micasense.com/hc/en-us/articles/227837307-Overview-of-Agricultural-Indices>. [cit. 2024-01-07].

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

Geologie | Oficiální webové stránky NP České Švýcarsko a CHKO Labské pískovce. Online. Národní park České Švýcarsko. -. Dostupné z: <https://www.npcs.cz/geologie>. [cit. 2023-05-01].

Požár České Švýcarsko: Srovnání satelitních snímků. Online. Seznam Zprávy. 2022. Dostupné z: <https://www.seznamzpravy.cz/clanek/fakta-srovnani-satelit-ukazal-jake-rany-ustedril-ohen-ceskemu-svycarsku-210685>. [cit. 2023-05-21].

Mastersizer 3000 User Manual (MAN0474-2.1). Manuál ke stroji Mastersizer 3000. Malvern Instruments, 2013.

High-Performance TOC Analyzer multi N/C[®] Series. Manuál ke stroji TOC Analyzer. Jena Analytics, 2016.

Landsat Soil Adjusted Vegetation Index | U.S. Geological Survey. Online. USGS. 2022. Dostupné z: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-soil-adjusted-vegetation-index>. [cit. 2024-01-07].

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

Dlouhodobý vývoj vegetace pískovcových borů po požáru a možnosti jejich požárového managementu. In: Ekologická obnova v České republice II. Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, 2018, s. 34-39. ISBN 978-80-88076-83-4.

Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI) | Space4Water Portal. Online. Space4Water. Anon. 2018. Dostupné z: <https://www.space4water.org/taxonomy/term/1242>. [cit. 2024-01-08].

CSF (plugin) - CloudCompareWiki. Online. CloudCompare. Anon. 2016. Dostupné z: [https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php/CSF_\(plugin\)](https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php/CSF_(plugin)). [cit. 2024-01-08].

ESRI. NDVI function—ArcGIS Pro | Documentation. Online. ArcGIS PRO. 2023. Dostupné z: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/raster-functions/ndvi-function.htm>. [cit. 2023-04-29].

Ilustrační foto - České Švýcarsko, Stříbrné stěny. Fsv - Katedra 143, 2022.

Multispectral FAQs – MicaSense Knowledge Base. Online. MicaSense. 2023. Dostupné z: <https://support.micasense.com/hc/en-us/articles/229948948-Multispectral-FAQs>. [cit. 2023-05-22].

Seznam obrázků

Obrázek 1: Geologické složení národního parku České švýcarsko (NP České Švýcarsko, b.r.).....	3
Obrázek 2: Rozsah požáru v českém švýcarsku, jedná se o infračervené satelitní snímek, Písmeno H značí vesnici hřensko a písmeno M vesnici mezná (Seznam 2022).....	5
Obrázek 3: Řešené území na ortofoto mapě ČR.....	6
Obrázek 4: Řešené území viditelně rozděleno údolnicí na Bukový les a smrkové spáleníště	6
Obrázek 5: Typy půdních agregátů (AF Mendelu 2023).....	8
Obrázek 6: Trojúhelníkový diagram zrnitosti (Hubová 2017)	10
Obrázek 7: Plošná eroze (EAGRI b.r.)	11
Obrázek 8: Rýhová eroze na poli (EAGRI b.r.)	12
Obrázek 9: Škála vlnových délek (Zelené a UV Lasery Megablog b.r.)	14
Obrázek 10: Příprava na spuštění dešťového simulátoru (K143 2022)	16
Obrázek 11: Trvale instalovaná plocha na smrkovém spáleníšti.....	17
Obrázek 12: Schematické zapojení laserového difraktometru Malvern 3000 (Instruments 2013).....	18
Obrázek 13: Schematické zobrazení principu měření TOC (Jena 2016)	19
Obrázek 14: Křemenná lodička v peci při měření TOC.....	20
Obrázek 15: Schematické znázornění laserového vysílače a přijímače	21
Obrázek 16: Multispektrální kamera připnutá na dron DJi Matrice 300 RTK	22
Obrázek 17: RGB kamera připevněná k UAV DJI Matrice 300 RTK	24

Obrázek 18: Schematické vysvětlení funkčnosti CSF, (CSF (Plugin) – CloudCompareWiki 2016).....	25
Obrázek 19: Schematické znázornění nástroje Flow Direction (ESRI 2023b).....	26
Obrázek 20: Schematické zobrazení nástroje Flow Accumulation(ESRI 2023d) ...	27
Obrázek 21: Vzorec pro výpočet NDVI (GISGeography 2019).....	27
Obrázek 22: Vzorec pro výpočet SAVI (Landsat Soil Adjusted Vegetation Index U.S. Geological Survey 202)	28
Obrázek 23: Vzorec pro výpočet GNDVI (Vegetation indices for online extension of MUCAD. Download Scientific Diagram 202).....	28
Obrázek 24: Vzorec pro výpočet NDRE (Thompson et al. 2017).....	29
Obrázek 25: Umístění ploch měření	30
Obrázek 26: Zrnitost v hloubce, Smrk.....	34
Obrázek 27: Zrnitost v hloubce, Buk.....	35
Obrázek 28: Obsah TOC, Smrk.....	36
Obrázek 29: Obsah TOC, Buk.....	36
Obrázek 30: Vývoj zrnitosti v čase, Smrk 5 cm.....	37
Obrázek 31: Vývoj zrnitosti v čase, Buk 5 cm	38
Obrázek 32: Vývoj TOC v čase, Smrk 5 cm	39
Obrázek 33: Vývoj TOC v čase, Buk 5 cm	39
Obrázek 34: Zrnitost, experiment 3 Smrk	40
Obrázek 35: Obsah TOC, experiment 3 Smrk	41
Obrázek 36: Zrnitost, experiment 4 Buk.....	42
Obrázek 37: Obsah TOC, experiment 4 Buk	43
Obrázek 38: Zrnitost, př. smyv Smrk.....	45

Obrázek 39: Obsah TOC, př. smyv Smrk	46
Obrázek 40: Zrnitost, př. smyv Buk.....	47
Obrázek 41: Obsah TOC, př. smyv Buk.....	48
Obrázek 42: Erozní rýhy 7. 9. 2022	49
Obrázek 43: Erozní rýhy 15. 9. 2022.....	50
Obrázek 44: Erozní rýhy 5. 12. 2022	50
Obrázek 45: Model terénu, LiDAR	51
Obrázek 46: Model terénu, P1.....	52
Obrázek 47: Porovnání odtoků, P1 a LiDAR	53
Obrázek 48: porovnání odtoku z modelu P1 a ortofota.....	54
Obrázek 49: Porovnání odtoku z modelu LiDAR a ortofota	54
Obrázek 50: Porovnání odtoku modelu LiDAR rozlišení 10 cm a ortofota.....	55
Obrázek 51: Hodnoty NDVI – 7. 9. 2022	56
Obrázek 52: Hodnoty NDVI – 5. 12. 2022	57
Obrázek 53: Rozdíl NDVI prvního a posledního náletu.....	58
Obrázek 54: Rozdíl hodnot SAVI	59
Obrázek 55: Rozdíl hodnot GNDVI	59
Obrázek 56: Rozdíl hodnot NDRE	60

Seznam tabulek

Tabulka 1: Zařazení půdy podle zrnitosti dle nováka (Sněhota a Šanda 2021).....	9
Tabulka 2: Tabulka půdních zrnitostí vzorků z odběrného místa Smrk	32
Tabulka 3: Tabulka půdních zrnitostí vzorků z odběrného místa Buk	33
Tabulka 4: Data odběrů vzorků přirozeného smyvu	44