

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Fotogrammetrické vyhodnocení kapkové eroze

Photogrammetric evaluation of splash erosion

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Inženýrství životního prostředí

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Josef Krása, Ph.D.

Praha, 2019

Michal Vrána



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Vrána

Jméno: Michal

Osobní číslo: 438947

Zadávací katedra: K143 - Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Inženýrství životního prostředí

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Fotogrammetrické vyhodnocení kapkové eroze

Název bakalářské práce anglicky: Photogrammetric evaluation of splash erosion

Pokyny pro vypracování:

Vytvoření modelů povrchu a ortofot jednotlivých experimentů ze snímků kapkové eroze (splashcups) v prostředí Agisoft a ArcGIS. Popis zpracování dat a vyhodnocení protokolů. Vyhodnocení změn morfometrických charakteristik povrchu vlivem příčinné srážky. Statistické porovnání výstupů s kinetickou energií srážek a naměřenou hodnotou smyvu (splash erosion).

Seznam doporučené literatury:

Báčová, M., Krása, J., Devátý, J., Kavka, P., 2018. A GIS method for volumetric assessments of erosion rills from digital surface models. European Journal of Remote Sensing 1–12.

<https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1543556>

Jméno vedoucího bakalářské práce: doc. Ing. Josef Krása, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 20.2.2019

Termín odevzdání bakalářské práce: 26.5.2019

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“.

28.2.2019

Datum převzetí zadání



Podpis studenta(ky)

PROHLÁŠENÍ

Jméno studenta: Michal Vrána

Název bakalářské práce: Fotogrammetrické vyhodnocení kapkové eroze

Prohlašuji, že bakalářskou práci na téma „Fotogrammetrické vyhodnocení kapkové eroze“ jsem vypracoval samostatně. Použitou literaturu a další materiály uvádím v seznamu použitých zdrojů.

V Praze dne 26.5.2019

.....

podpis

Tato práce probíhala v rámci projektu GF17-33751L „Vliv kinetické energie deště na uvolňování a transport půdních částic“

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu **doc. Ing. Josefovi Krásovi, Ph.D.** za pomoc a cenné rady při zpracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat **Ing. Tomášovi Laburdovi** za poskytnutí potřebných podkladů pro tuto práci. Děkuji také **Ing. Janu Devátému, Ph.D.** za poskytnutí skriptu, který vytvořil a je v této práci použit. Poděkování patří i mé rodině, která mě během práce nepřestala podporovat.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá vyhodnocováním kapkové eroze na třech odlišných půdách na čtyřech měřících stanovištích v Rakousku a České republice. Půdní vzorky byly vystaveny přirozeným srážkám. Na každém měřícím stanovišti byly instalovány srážkoměry a disdrometry pro měření velikosti srážek a kinetické energie srážek. Pro vyhodnocení kapkové eroze byla použita pozemní fotogrammetrie. Pomocí této metody bylo provedeno snímkování každého půdního vzorku před a po srážce. Pořízené snímky každého půdního vzorku byly následně zpracovány programem *Agisoft PhotoScan*. Vygenerované ortofoto mapy a digitální modely terénu byly dále zpracovány programem *ArcMap*. Byly vypočteny průměrné charakteristiky jako například konsolidace půdy, výška nasypání vzorku nebo drsnost půdního povrchu. Následně byly vytvořeny grafy, které ukazují jednotlivé vztahy mezi vypočtenými charakteristikami půd a charakteristikami srážek. Poté byly všechny uvedené vztahy vyhodnoceny z hlediska závislostí na různých aspektech a z pohledu hodnot spolehlivosti. Jako poslední byla vyhodnocena kvalita přípravy půdních vzorků a její vliv na uvedené vztahy.

KLÍČOVÁ SLOVA

srážka, kinetická energie, konsolidace, drsnost, výška nasypání, variabilita, fotogrammetrie, kapková eroze, hmotnost splashe

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the evaluation of splash erosion on three different soils at four measuring sites in Austria and Czech Republic. Soil samples were exposed to natural rainfall. Rain gauges and disdrometers were installed at each measuring station to measure rainfall and kinetic energy of rainfall. Ground photogrammetry was used to evaluate splash erosion. This method was used to scan each soil sample before and after the rainfall. The photos of each soil sample were then processed by *Agisoft PhotoScan*. The generated orthophoto maps and digital elevation models were further processed by *ArcMap*. Average characteristics such as soil consolidation, sample pouring height, or soil surface roughness were calculated. Subsequently, graphs were created showing individual relationships between calculated soil characteristics and rainfall characteristics. Then all the relationships were evaluated in terms of dependencies on various aspects and in terms of reliability values. Lastly, the quality of soil sample preparation and its influence on these relationships were evaluated.

KEYWORDS

rainfall, kinetic energy of rainfall, consolidation, roughness, pouring height, variability, photogrammetry, splash erosion, splash weight

OBSAH

1	ÚVOD	11
1.1	Cíle práce.....	12
2	PŮDA.....	13
2.1	Základní funkce a procesy	13
2.2	Vodní eroze.....	14
3	SRÁŽKY	16
3.1	Základní informace a dělení.....	16
3.2	Měření srážek.....	17
4	FOTOGRAMMETRIE A GIS.....	18
4.1	Základní informace a dělení fotogrammetrie	18
4.2	Software pro fotogrammetrické zpracování dat.....	20
4.2.1	Agisoft PhotoScan	20
4.3	Software pro GIS analýzy fotogrammetrických dat	21
5	STANOVIŠTĚ	22
5.1	Měřicí stanoviště	22
5.1.1	Stanoviště Praha	24
5.1.2	Stanoviště Petzenkirchen”	26
5.1.3	Stanoviště Mistelbach.....	26
5.2	Lokality odběru půdy.....	27
6	CHARAKTERISTIKY MĚŘENÝCH PŮD	28
6.1	Zrnitostní složení	28
6.2	Ostatní charakteristiky	29
6.3	Zhodnocení.....	30
7	PŘÍPRAVA VZORKŮ A DAT.....	31
7.1	Příprava a instalace půdních vzorků	31
7.2	Příprava pro fotogrammetrické zpracování.....	32
7.3	Zpracování vzorků	33

8	FOTOGRAMMETRICKÉ ZPRACOVÁNÍ DAT	34
8.1	Agisoft PhotoScan	34
8.1.1	Přidání snímků	34
8.1.2	Zarovnání snímků a vytvoření řídkého mračna bodů	34
8.1.3	Referencování	36
8.1.4	Nastavení hranic modelu	37
8.1.5	Tvorba hustého mračna bodů	37
8.1.6	Vytvoření sítě	38
8.1.7	Vytvoření textury	40
8.1.8	Tvorba digitálního modelu terénu (DEM)	41
8.1.9	Tvorba ortofota	42
8.1.10	Export výsledků	43
8.1.11	Export zprávy	44
8.1.12	Automatický výpočet	44
8.1.13	Kvalita výpočtů	45
8.2	ArcMap	45
8.2.1	Vložení vstupních dat	45
8.2.2	Výpočet charakteristik	46
8.2.3	Export výsledků	47
9	ZMĚNY MORFOMETRICKÝCH CHARAKTERISTIK POVRCHU A HODNOT SMYVU VLIVEM SRÁŽKY	48
9.1	Vztah mezi konsolidací půdy a kinetickou energií srážky	49
9.2	Vztah mezi konsolidací půdy a srážkovým úhrnem	51
9.3	Vztah mezi hmotností splashe a kinetickou energií srážky	54
9.4	Vztah mezi hmotností splashe a srážkovým úhrnem	56
9.5	Vztah mezi konsolidací půdy a hmotností splashe	59
9.6	Zhodnocení	61

10 DALŠÍ VLIVY NA MORFOMETRICKÉ CHARAKTERISTIKY POVRCHU A HODNOTY SMYVU	62
10.1 Další vliv na míru konsolidace půdy	62
10.1.1 Půda z lokality Býkovice	62
10.1.2 Půda z lokality Petzenkirchen.....	64
10.1.3 Zhodnocení.....	66
10.2 Další vliv na velikost hmotnosti splashe.....	66
10.2.1 Oblast střední kinetické energie srážek.....	66
10.2.2 Oblast vysoké kinetické energie srážek.....	68
10.2.3 Zhodnocení.....	69
11 ZMĚNA DRSNOSTI POVRCHU VLIVEM SRÁŽKY	70
11.1 Půda z lokality Býkovice	70
11.2 Půda z lokality Petzenkirchen.....	72
11.3 Půda z lokality Mistelbach.....	74
11.4 Zhodnocení.....	76
12 KVALITA PŘÍPRAVY PŮDNÍCH VZORKŮ	77
12.1 Zhodnocení.....	78
13 VARIABILITA MĚŘENÍ	79
13.1 Variabilita měření konsolidace vůči kinetické energii na jednotlivých stanovištích	79
13.2 Variabilita měření konsolidace vůči kinetické energii na jednotlivých půdách	80
13.3 Variabilita měření hmotnosti splashe vůči kinetické energii na jednotlivých stanovištích.....	81
13.4 Variabilita měření hmotnosti splashe vůči kinetické energii na jednotlivých půdách	82
13.5 Zhodnocení.....	82
14 SPOLEHLIVOST VZTAHŮ.....	84
14.1 Hodnocení spolehlivosti na každém měřicím stanovišti	84

14.2	Hodnocení spolehlivosti bez ohledu na měřící stanoviště.....	85
14.3	Zhodnocení.....	88
15	ZÁVĚR	89
16	SEZNAMY.....	92
16.1	Seznam použitých zkratk	92
16.2	Seznam obrázků	93
16.3	Seznam tabulek	95
16.4	Seznam grafů.....	96
17	POUŽITÉ ZDROJE.....	98

1 ÚVOD

Předmětem této bakalářské práce je za pomoci blízké fotogrammetrie vyhodnotit změny morfometrických charakteristik povrchu půdy vlivem atmosférických srážek a následně popsat vztahy mezi půdními charakteristikami a charakteristikami srážek. Tento experiment probíhal na čtyřech měřících stanovištích v Rakousku a České republice v rámci projektu GF17-33751L „*Vliv kinetické energie deště na uvolňování a transport půdních částic*“. Na všech stanovištích se půdní charakteristiky zjišťovaly na půdách ze tří lokalit v Rakousku a České republice.

Hlavními sledovanými půdními charakteristikami byly *konsolidace půdy*, která byla v rámci práce vyhodnocována jako pokles půdního povrchu, a *drsnost povrchu*, která souvisí s infiltrační schopností půdy. Další sledovanou půdní charakteristikou byla *výška nasypání* půdního vzorku, která úzce souvisí s množstvím erodované půdy. Dále se také sledovaly charakteristiky srážek *srážkový úhrn* a *kinetická energie srážky*, které jsou úzce spjaty s mírou eroze půdních vzorků.

První tři části práce jsou čistě teoretické a zabývají se půdou, srážkami a fotogrammetrií. Jedná se tedy o kapitoly, které se věnují základním vlastnostem půdy a následnou vodní erozí, rozdělením srážek a jejich měřením, vysvětlením pojmu fotogrammetrie, jejímu rozdělení a následnými metodami zpracování dat.

Další kapitola je věnována popisu jednotlivých stanovišť, kde experimenty probíhaly. Je zde popsáno každé stanoviště z pohledu vybavení pro měření půdních vzorků a srážek. Také jsou zde uvedeny a popsány lokality odběru sledovaných půd.

Následující kapitola je věnována naměřeným půdním charakteristikám v pedologické laboratoři, jako je zrnitostní složení, půdní druh, obsah uhličitánů, kyselost půdy, obsah organického uhlíku a stabilita agregátů. Tyto charakteristiky byly následně porovnávány mezi měřenými půdami.

Další dvě části práce jsou zaměřeny na přípravu půdních vzorků a jejich následné snímkování pro fotogrammetrické zpracování. Dále je zde podrobně popsán postup práce v softwarech *Agisoft PhotoScan* a *ArcMap*.

Zbylé části této práce se zabývají vyhodnocením vztahů mezi morfometrickými charakteristikami půd a charakteristikami srážek pomocí různých grafů, obrázků a tabulek. Je zde také popsána variabilita měřených půdních vzorků a následné

vysvětlení příčin. Jsou zde popsány také další vlivy, které mohou ovlivňovat míru eroze.

1.1 Cíle práce

- Vytvoření digitálních modelů povrchu a ortofot pomocí softwaru *Agisoft PhotoScan Professional*
- Výpočet půdních charakteristik, jako je konsolidace, drsnost a výška nasypání, v softwaru *ArcMap*
- Vyhodnocení změn morfometrických charakteristik povrchu vlivem atmosférické srážky
- Vyhodnocení dalších vlivů na morfometrické charakteristiky povrchu
- Popis kvality přípravy půdních vzorků na jednotlivých měřicích stanovištích
- Vyhodnocení variability měření půdních vzorků
- Vyhodnocení spolehlivosti zobrazených vztahů

2 PŮDA

2.1 Základní funkce a procesy

Půda je jedním z hlavních přírodních zdrojů, který nám poskytuje obživu, ale také nám poskytuje prostor pro stavbu obydlí či cest. Půda je důležitou zásobárnou vody pro rostliny nebo mikroorganismy a také funguje jako filtrační a čistící prostředí, kterým voda prochází. Z ekologického hlediska hraje nezastupitelnou roli ve stabilitě ekosystémů a bilance látek a energií. Na půdu by se mělo nahlížet jako na téměř neobnovitelný zdroj, neboť tvorba malé vrstvy půdy může trvat až stovky let, zatímco její znehodnocení může být otázkou okamžiku. [1]

Dlouhá léta byla funkce půdy vnímána především jako produkční. Proto se do nedávné minulosti snažili zemědělci hospodařící na půdě zvýšit její produkční schopnost pro maximalizaci výnosů z pěstovaných plodin. V dnešní době pomalu dochází k utlumování produkční funkce půdy zatravňováním a zalesňováním. [1]

Kromě produkční funkce má půda další důležité funkce:

- **Infiltrační funkce** umožňuje vsakování vody do půdního prostředí a umožňuje průchod tímto prostředím do spodních vod. Cestou se voda může obohatit o některé látky, které jsou obsaženy v půdě. Infiltrační schopnost půdy zásadním způsobem ovlivňuje kvalitu podzemních vod.
- **Retenční funkce** umožňuje půdě zadržovat kromě vody také živiny v organické hmotě. Může ovšem zadržovat řadu látek, které půdu naopak znečišťují.
- **Pufrační funkce** představuje vlastnost půdy udržet si neměnné půdní prostředí. Půda s vysokou pufrační schopností si např. při okyselování půdy, které je způsobeno kyselými dešti, udrží svou půdní kyselost (pH) mnohem déle než půda s nízkou pufrační schopností. Pufrační kapacita je ovšem omezená a v případě dlouhotrvajících vstupů, které půdu ovlivňují, dojde k postupné degradaci půdy.

- **Transportní funkce** se váže na pohyb vody v půdním prostředí. Složení půdní vody se oproti povrchové vodě značně liší. Prvky jsou v ní obsaženy ve formě koloidů, iontů prvků nebo jejich sloučenin. Důležitý je také pohyb nebezpečných látek a kontaminantů obsažených v půdě. Na výsledný pohyb má zásadní vliv tvar terénu, klimatické faktory a hladina podzemní vody (HPV).
- **Transformační a asanační funkce** charakterizuje schopnost půdy odstraňovat různé látky a vytvářet jiné. Přírodními a jinými vlivy se do půdy dostává velké množství materiálu, které je vystaveno fyzikálně-chemickým a biologickým procesům, které materiál transformují na jednotlivé sloučeniny a prvky. Asi nejznámější proces v půdě je přeměna organických látek na humus. Tomuto procesu se říká humifikace.
- **Stabilizační funkce** představuje schopnost půdy odolávat vnějším fyzikálním vlivům např. vodní či větrné erozi. [1]

Eroze půdy

Erozi lze charakterizovat jako proces, při kterém dochází k postupnému rozrušování půdního povrchu, transportu půdních částic a jejich následnému usazování. Tento proces nelze úplně zastavit, ale lze ho výrazně zpomalit různými opatřeními. Eroze má na půdu negativní vliv, např. zhoršuje fyzikální vlastnosti půdy, zvyšuje šterkovitost, snižuje obsah živin a humusu, poškozují plodiny, zanášení akumulací prostory vodních nádrží, zhoršuje prostředí pro vodní organismy apod. [1]

2.2 Vodní eroze

Vodní erozi půdy lze definovat jako proces, který zahrnuje rozrušování půdního povrchu, transport a následnou sedimentaci uvolněných půdních částic působením vody. Vodní eroze půdy je proces přírodní a nelze jej zcela zastavit. Rozlišujeme erozi normální a zrychlenou. Normální eroze je přirozený proces, který neustále přetváří reliéf území. Tento proces probíhá postupně a z hlediska lidské generace je prakticky nepozorovatelný. Naopak eroze zrychlená odplavuje půdní částice v takové míře, že se nemohou půdotvorným procesem nahradit. Zrychlená eroze je především ovlivněna lidskou činností a způsobem hospodaření. V České republice vodní eroze ohrožuje více než 50 % výměry orné půdy. Půdu ohroženou zrychlenou vodní erozí je potřeba účinně chránit. [2] [3]

Začátkem vodní eroze je tzv. **kapková eroze**, která je způsobena dopadem dešťových kapek, respektive jejich kinetickou energií, na nekrytý povrch půdy. Dešťové kapky se chovají jako „malé bomby“. Při pádu na nekrytý povrch půdy rozbíjejí půdní agregáty a tím rozbíjejí strukturu půdy. Studie v Americe ukázaly, že výška půdní částice při odskoku může přesáhnout 0,6 m a horizontální vzdálenost místa dopadu od původní pozice může být více než 1,5 metru. Tyto malé půdní částičky poté vyplňují mezery mezi rozrušenými agregáty a tím mohou způsobovat krustaci půdy. To poté vede ke snížené infiltraci a ke zvýšení povrchového odtoku. [4] [5] Právě touto fází vodní eroze se bude zabývat tato práce.

Při nízké kinetické energii povrchově stékající vody nastává eroze selektivní, při níž je typický odnos nejjemnějších půdních částic povrchovým odtokem. Touto erozí dochází ke změnám půdní textury a obsahu živin v půdě. Půdy podléhající této erozi se stávají hrubozrnnější a mají menší obsah živin. Při vysoké kinetické energii povrchově stékající vody může dojít za určitých podmínek (utváření půdního profilu z málo odolných a odolných vrstev) k velkým smyvům až ke ztrátě celé orniční vrstvy. Tento druh eroze se nazývá eroze vrstevná. [6]

Postupným soustředováním plošného odtoku vznikají další typy erozí, a to eroze rýžková a eroze rýhová. Při rýžkové erozi vznikají drobné úzké zářezy, které na půdním povrchu vytvářejí hustou síť. Z rýžkové eroze vzniká postupným soustředěním odtoku eroze rýhová, kde rýhy se směrem ze svahu postupně prohlubují. Ta poté přechází do eroze výmolové, kde hluboké výmoly mohou přesáhnout příčný rozměr větší než 1 metr. [4] [6]

3 SRÁŽKY

3.1 Základní informace a dělení

Srážky jsou vodní kapky nebo ledové krystalky, které vznikají kondenzací nebo desublimací vodní páry v ovzduší. Jde tedy o všechnu vodu vyskytující se v atmosféře v kapalném nebo v pevném skupenství. Tato atmosférická voda buď vypadává z různých druhů oblaků (**vertikální srážky**) nebo se usazuje na zemském povrchu (**horizontální srážky**). [7] [8]

Oblak můžeme definovat jako shluk vodních kapiček, dešťových kapek, ledových krystalků nebo sněhových vloček nebo krup. Pokud uvedené shluky dosáhnou určité hmotnosti a už se v oblaku dále neudrží, začnou se snášet směrem k zemskému povrchu ve formě srážek. Pokud tyto srážky nejsou dostatečně výrazné, mohou se vypařit ještě v atmosféře. [9]

Za základní srážky se považují **vertikální srážky**. Mezi vertikální srážky patří především déšť a mrholení. Patří sem samozřejmě i srážky v pevném skupenství jako je zmrzlý déšť, sníh nebo kroupy. Déšť a mrholení lze považovat za jediné čistě kapalně srážky. Mrholení se vyznačuje nízkým srážkovým úhrnem a průměrem vodních kapiček menších než 0,5 mm. Déšť se může projevovat různými intenzitami. Od slabého deště po extrémní srážkové úhrny. Dešťové kapičky mají, na rozdíl od mrholení, průměr větší než 0,5 mm, ale mohou v případě velkých srážek dosáhnout až 5 mm. Případem velkých srážkových intenzit je přívalový déšť, který se vyznačuje krátkou dobou trvání, velkou srážkovou intenzitou a lokálním výskytem. Opakem jsou trvalé srážky, které se vyznačují delší dobou trvání, menší, ale zato stálou, srážkovou intenzitou a výskytem nad většími územními celky. Právě přívalové deště mohou způsobovat značné škody na půdních pozemcích, kde dochází k rychlému rozrušování půdních agregátů, nasycení půdy a následnému povrchovému odtoku. Při povrchovém odtoku dochází ke splavení ornice, čímž se snižuje úrodnost půdy. Mohou být také odplaveny plodiny, které se na těchto pozemcích pěstují. Při ještě extrémnějších srážkách může dojít k sesuvům půdy a velmi silné erozní činnosti během několika málo minut. [9] [10]

Další skupinou srážek jsou **horizontální srážky**, které vznikají na zemském povrchu kondenzací vodních par. Do této skupiny se řadí rosa, jinovatka, námraza, ledovka

apod. [9] Tento druh srážek, na rozdíl od srážek vertikálních, způsobuje zanedbatelné poškození půdy.

3.2 Měření srážek

Při měření atmosférických srážek se nejčastěji určují tyto charakteristiky:

- Srážkový úhrn (mm)
- Doba trvání srážek (min, hod)
- Intenzita srážek (mm/min, mm/hod)
- Kinetická energie srážek (J/m^2)

Srážkový úhrn se měří **ombrometrem** (hyetometrem). Je to v podstatě válec s nálevkou, která svádí všechny srážky dovnitř srážkoměru, kde se měří objem zachycené vody. Pro měření srážkového úhrnu společně s časovým průběhem srážek se používá tzv. **ombrograf** (hyetograf). Tento přístroj umí měřit srážky kontinuálně. Srážky stékají do nádoby s plovákem, na který je napojeno registrační zařízení, které zapisuje údaje na otáčející se papír. V dnešní době se ale tyto přístroje nahrazují **člunkovými srážkoměry**. Pomocí děleného překlápěcího člunku, kam je sváděna zachycená srážka, se počítá počet překlopení tohoto člunku. Jednotlivá překlopení se zaznamenávají a jejich počet určuje celkový srážkový úhrn. Pro měření dalších charakteristik, jako je např. kinetická energie srážky, se nejčastěji používá **laserový optický disdrometr**. Tento přístroj měří částice srážek na základě odstínění, které vyvolávají, když míjejí laserový pás. Disdrometr dokáže měřit množství a intenzitu srážek, viditelnost za deště a kinetickou energii srážek. [7]

V této práci bylo využito dat ze čtyř měřících stanovišť, kde se měření srážek provádělo pomocí člunkových srážkoměrů a disdrometrů

4 FOTOGRAMMETRIE A GIS

4.1 Základní informace a dělení fotogrammetrie

Fotogrammetrii můžeme popsat jako vědní obor v oblasti geodézie a kartografie, který se zabývá zpracováním informací získaných o daných objektech či plochách. Měření se provádí pomocí obrazových záznamů, nejčastěji pomocí fotografických snímků. Základním úkolem fotogrammetrie je převedení středového průmětu (snímek) na průmět pravoúhlý. Výsledkem pak je mapa, plán, ortofoto nebo digitální model povrchu (DSM). [11] [12]

Počátky fotogrammetrie sahají až do 15. století, kdy byla vynalezena dírková komora. S postupným rozvojem létání se začala rozvíjet i letecká fotogrammetrie (1858). Avšak velký rozmach letecké fotogrammetrie nastal až v období první světové války. Na našem území pak bylo první fotogrammetrické měření provedeno v roce 1867. [11] [12]

Fotogrammetrii můžeme rozdělit podle základních kritérií na tyto skupiny:

dle polohy stanoviska:

- pozemní
- letecká
- družicová

dle počtu snímků:

- jednosnímková
- vícesnímková
 - stereofotogrammetrie
 - průseková

dle zpracování:

- analogové metody
- analytické metody
- digitální metody

Podle polohy stanoviska, kde byl snímek pořízen, můžeme rozdělit fotogrammetrii na pozemní, leteckou a družicovou. Pozemní fotogrammetrie se vyznačuje pevným stanovištěm umístěným na Zemi, u kterého lze přesně určit polohu stanoviště a prostorovou orientaci snímku. Touto metodou se používá pro měření menších území a objektů např. lomy, výškové plány pro hrazení bystřin a pro sledování erozních procesů menších území. V této práci byla využita právě pozemní fotogrammetrie. U letecké fotogrammetrie se snímky pořizují z pohyblivého se

nosiče, nejčastěji z letadla. Výhodou této metody je, že zobrazená plocha na jednotlivých snímcích je velká, takže se může zpracovat větší plocha než u pozemní fotogrammetrie. Jednotlivé snímky se musejí vzájemně překrývat (podélný překryv v řadách 60 %, překrytí řad 30 %), aby se nasnímkovala celá plocha území. [11] [12]

V současné době je hojně využívána digitální fotogrammetrie, kterou se nejčastěji vytvářejí digitální modely povrchu (DSM) nebo digitální ortofota. Tato metoda se masově rozšířila díky digitální technologii po vstupu osobních počítačů na trh. Postupem času digitální technologie zaznamenala velmi rychlý rozvoj. Dnešní technologie jsou čím dál tím přesnější. [11] [12]

Při zpracovávání snímků dochází k nezanedbatelné deformaci obrazu. Tyto deformace (radiální posuny) se při zpracování digitálního ortofota odstraňují pomocí nepřímé projektivní transformace rastru, na základě známé polohy a výšky každého pixelu v systému souřadnic. Hledá se poloha pixelu na původním snímku pro jeho novou polohu ve vznikajícím ortofotu. Toho se docílí převodem středového průmětu snímku na pravoúhlé promítání, tzv. ortogonalizací snímku. [11] [12]

V neposlední řadě je také potřeba zmínit metodu UAV fotogrammetrie. V současné době je tato metoda velice využívána pro detailní určení erozních procesů. UAV (Unmanned Aerial Vehicle) je bezpilotní letadlo (dron), které je buď řízeno na dálku pomocí dálkového ovládní, nebo je schopno létat samostatně pomocí naprogramovaných letových plánů nebo pomocí autonomního systému. Dron slouží jako nosič pro různá zařízení jako jsou fotoaparáty, videokamery, infrakamery nebo jiná složitější zařízení. [13]

4.2 Software pro fotogrammetrické zpracování dat

Pro fotogrammetrické zpracování pořízených snímků lze použít velké množství softwarů, aplikací a služeb. Příklady jsou uvedeny v tabulce níže.

Tabulka 1: Příklady softwarů pro fotogrammetrické zpracování dat [10]

Název produktu	Popis
Agisoft PhotoScan	software, zpracování dat pomocí průsekové fotogrammetrie, možnost automatizace zpracování dat, vysoká přesnost (použit v této práci) URL: https://www.agisoft.com
FotoModeler Scanner	software, tvorba vysoce kvalitních 3D modelů URL: https://www.photomodeler.com
3Dsurvey	software, pro zpracování zeměměřických dat, tvorba modelů povrchu URL: https://www.3dsurvey.si
Orbit GT	software, nástroj pro UAV mapování URL: https://orbitgt.com
Autodesk 123D Catch	cloud aplikace, vytváření 3D modelů, zpracování na cloud serveru Autodesk URL: https://www.autodesk.com
PIX4D	webová služba, data jsou zpracována na serverech společnosti PIX4D, komplexní služby URL: https://www.pix4d.com
OpenDroneMap	software, volně dostupný, bez grafického rozhraní, ovládání pomocí příkazového řádku URL: https://www.opendronemap.org

4.2.1 Agisoft PhotoScan

Agisoft PhotoScan je profesionální software na zpracovávání digitálních fotografií a následné generování 3D prostorových dat pomocí fotogrammetrie. Na zpracovávání dat používá software průsekovou fotogrammetrii. *Agisoft PhotoScan* byl vyvinut v roce 2006 společností Agisoft LLC. Tento software přímo nespadá do kategorie geografických informačních systémů (GIS), ale poté se jeho výstupy dají

velmi dobře v GIS programech využít. Nejčastěji bývá tento software využíván k tvorbě 3D modelů různých objektů, k vytvoření digitálního modelu povrchu (DSM) nebo k vytvoření digitálního ortofota. [14] [15]

Software je nabízen ve dvou verzích, a to **Agisoft PhotoScan Standard** a **Agisoft PhotoScan Professional**. Oproti verzi *Standard* má verze *Professional* širší nástrojové vybavení např. tvorbu digitálního modelu povrchu (DSM), nástroje pro referencování snímků na základě informací o poloze kontrolních bodů. Dále verze *Professional* umožňuje exportovat ortomozaiky ve formátech kompatibilních s GIS programy, měřit vzdálenosti, plochy a objemy a dokáže zpracovávat multispektrální snímky. Tyto dvě verze se liší také svou cenou. Cena jedné licence softwaru *Agisoft PhotoScan Standard* se udává 6100 Kč. Cena jedné licence softwaru *Agisoft PhotoScan Professional* je výrazně dražší, konkrétně 108 200 Kč. [15] [16] Tato práce byla zpracovávána ve verzi *Professional*. Podrobný postup zpracování dat viz. kapitola č. 8.1.

4.3 Software pro GIS analýzy fotogrammetrických dat

ArcGIS je geografický informační systém, který je určen pro práci s prostorovými daty. Tato data může nejen zobrazovat, ale také vytvářet, analyzovat je a nacházet v nich nové vztahy. Nakonec umí data přehledně a jednoduše vizualizovat. Výsledky lze sdílet jako mapy nebo interaktivní aplikace či reporty. [17]

ArcGIS Desktop je platforma ArcGIS. Je licencován ve třech úrovních: Basic, Standard a Advanced. Tyto úrovně se liší podle funkcionality. [17]

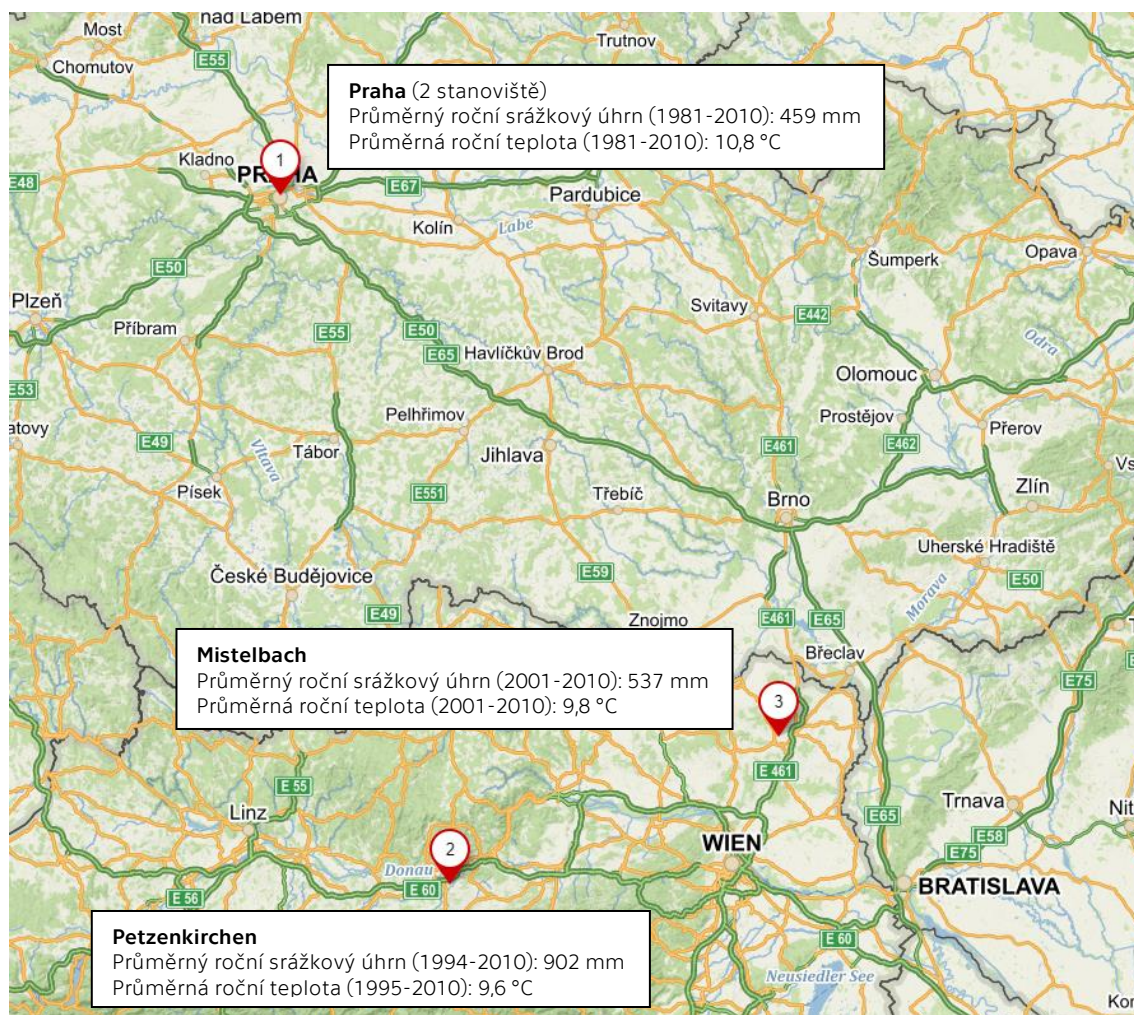
ArcMap je nejpoužívanější aplikace ArcGIS Desktop, která slouží pro různé mapové úlohy, prostorové analýzy a editaci dat. Pro zpracování dat a jejich následnou analýzu je možno využít mnoho tzv. geoprocessingových nástrojů, které lze navíc nalézt i jako funkce v jazyku Python. Tak lze vytvářet skripty a tím si práci zautomatizovat. [17] Tato práce byla z části zpracovávána v této aplikaci za použití skriptu. Podrobný postup zpracování dat viz. kapitola č. 8.2.

5 STANOVIŠTĚ

5.1 Měřicí stanoviště

Experimenty probíhaly na dvou stanovištích v Rakousku, **Petzenkirchenu** a **Mistelbachu** a na dvou stanovištích v České republice (viz *Obrázek 1*). Obě dvě stanoviště v České republice se nacházejí v Praze a jsou to: **ČVUT Fakulta stavební (CTU)** a **Ústav fyziky atmosféry (IAP)**.

Každé měřicí stanoviště je vybaveno pro měření charakteristik srážek (srážkový úhrn, kinetická energie srážek) standardním automatickým dešťovým měřidlem a disdrometrem, který měří distribuci velikosti kapek a pádovou rychlost srážek. Měřicí stanoviště *Praha (CTU)*, *Petzenkirchen* a *Mistelbach* jsou vybaveny optickými laserovými disdrometry. Stanoviště *Praha (IAP)* je vybaveno videodisdrometrem. [18]



Obrázek 1: Mapa jednotlivých měřících stanovišť [20]

Pro vyhodnocení oddělených půdních částic vyvolaných dešťovými kapkami byly použity modifikované „Morgan splash cups“ [19]. Modifikovaný „Morgan splash cup“ se skládá z plastového sběrače s výškou 30 cm a průměrem 45,5 cm. Sběrač má odvodňovací systém pro shromažďování dešťové vody s oddělenou půdou (viz *Obrázek 2*). Uprostřed sběrače je umístěn plastový kalíšek (vzorkovnice) s půdou o průměru 10 cm a výšce 5 cm. Plastový kalíšek na dně obsahuje otvory, které odvádějí dešťové srážky a zabraňují tomu, aby vzorek půdy byl přemokřený. Aby se zabránilo ztrátám půdy z otvorů, je dno kalíšku pokryto plastovou sítovinou o síle 500 μm a hustotě 1000 μm . Do kalíšků byla půda plněna 1 cm pod hranu kalíšku, a to ve dvou vrstvách. Půda byla nakonec rovnoměrně rozložena tenkou tyčinkou, aby se získala homogenizovaná textura. [18]



Obrázek 2: Modifikovaný "Morgan splash cup" a sběrač dešťové vody s oddělenou půdou [18]

5.1.1 Stanoviště Praha

Jak již bylo zmíněno, v Praze se nachází dvě měřící stanoviště:

- **ČVUT Fakulta stavební (CTU)**
- **Ústav fyziky atmosféry (IAP)**

Stanoviště ČVUT Fakulta stavební (CTU) se nachází ve čtvrti Praha – Dejvice, zatímco stanoviště Ústav fyziky atmosféry (IAP) se nachází ve čtvrti Praha – Spořilov. Vzdálenost mezi těmito stanovišti činí 15 km (viz *Obrázek 3*). [20]

Obě dvě stanoviště jsou vybaveny splash cupy pro 9 půdních vzorků (pro každý druh půdy 3 vzorky).



Obrázek 3: Mapa měřících stanovišť v Praze [20]

5.1.1.1 ČVUT Fakulta stavební (CTU)



Obrázek 4: Pohled na splash cupy [20]



Obrázek 5: Disdrometr Thies Clima [20]



Obrázek 6: Srážkoměr [20]

5.1.1.2 Ústav fyziky atmosféry (IAP)



Obrázek 7: Pohled na splash cupy [20]



Obrázek 8: Videodisdrometr [20]

5.1.2 Stanoviště Petzenkirchen

Toto stanoviště je vybaveno splash cupy pro 12 půdních vzorků (pro každý druh půdy 4 vzorky).



Obrázek 9: Pohled na splash cupy [20]



Obrázek 10: Disdrometr Parsivel M300 [20]

5.1.3 Stanoviště Mistelbach

Toto stanoviště je vybaveno splash cupy pro 9 půdních vzorků (pro každý druh půdy 3 vzorky).



Obrázek 11: Pohled na měřící stanoviště Mistelbach (Zdroj: emailová komunikace, Nives Balenovic)

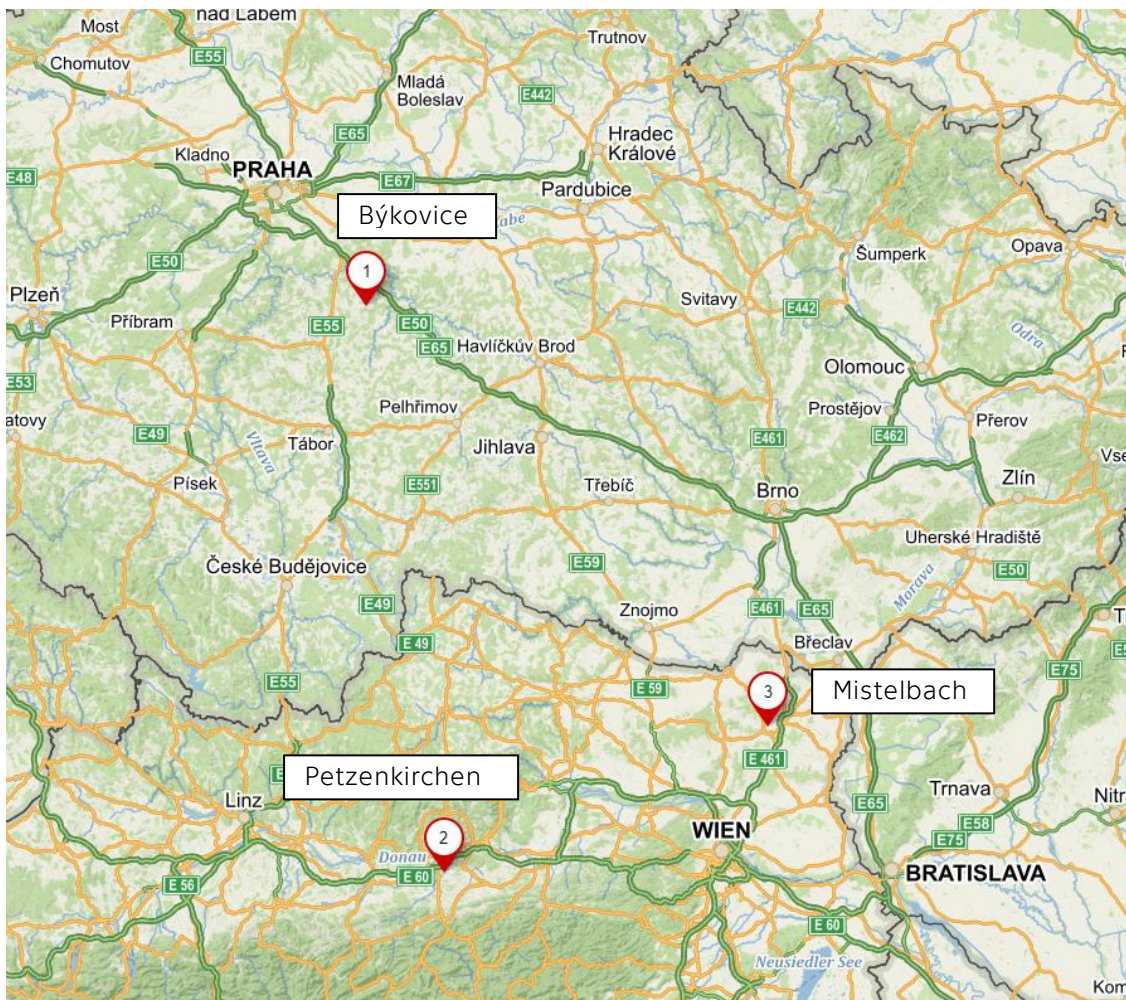


Obrázek 12: Disdrometr Campbell PWS100 [20]

5.2 Lokality odběru půdy

Všechny vzorky půdy, pro následné měření byly odebírány ze dvou lokalit v Rakousku a jedné lokality v České republice. V Rakousku jsou to lokality **Petzenkirchen** a **Mistelbach** a v České republice je to lokalita **Býkovice**, která se nachází asi 45 km jihovýchodně od Prahy (viz Obrázek 13).

Všechny vzorky půdy byly odebírány z horní vrstvy (0-10 cm) půdního profilu, sušeny na vzduchu a prosévány sítím velikosti 10 mm. [18]



Obrázek 13: Mapa lokalit odběru půdy [20]

6 CHARAKTERISTIKY MĚŘENÝCH PŮD

Již odebrané tři půdy ze dvou lokalit z Rakouska a jedné lokality z České republiky byly podrobeny laboratorní analýze fyzikálních a chemických vlastností. Z fyzikálních vlastností bylo zjišťováno zrnitostní složení, půdní druh a stabilita půdních agregátů. Z chemických vlastností byl zjišťován obsah uhličitanu vápenatého (CaCO_3), kyselost půdy a celkový obsah organického uhlíku. Výsledky této analýzy jsou uvedeny v tabulkách níže.

6.1 Zrnitostní složení

Tabulka 2: Zrnitostní složení měřených půd [20]

Půda	Zrnitostní složení půdy				Půdní druh
	jíl	prach	písek	štěrk	
	[%]	[%]	[%]	[%]	[-]
Býkovice	13,9	39,5	39,8	6,8	hlinitý písek
Petzenkirchen	29,1	54,2	16,0	0,6	(prachovitá) hlína
Mistelbach	27,1	59,5	12,9	0,4	prachovitá hlína

Z hlediska zrnitostního složení se už na první pohled půdy z Rakouska a České republiky výrazně liší. Zatímco půda z lokality *Býkovice* se z velké většiny skládá především z prachu (39,5 %) a písku (39,8 %), tak půdy z rakouské strany mají hlavní zrnitostní podíl ze složky prachové (54,2 % pro *Petzenkirchen* a 59,5 % pro *Mistelbach*). Největší obsah nejjemnějších částic (jílových) obsahují obě rakouské půdy (*Petzenkirchen* 29,1 %, *Mistelbach* 27,1 %), zatímco půda z lokality *Býkovice* obsahuje těchto částic jen necelou polovinu (13,9 %). Naopak v obsahu písku má největší zastoupení půda z lokality *Býkovice* (39,8 %), půdy z rakouských lokalit obsahují písku přibližně třikrát méně. Nejvíce štěrku je zastoupeno v půdě z lokality *Býkovice* (6,8 %). Rakouské půdy naopak obsahují zanedbatelné množství štěrkové složky (*Petzenkirchen* 0,6 %, *Mistelbach* 0,4 %). Právě na základě zastoupení jednotlivých zrnitostních složek byly půdy zařazeny do jednotlivých půdních druhů. Půda z lokality *Býkovice* jako **hlinitý písek**, půda z lokality *Petzenkirchen* jako **(prachovitá) hlína** a půda z lokality *Mistelbach* jako **prachovitá hlína**.

6.2 Ostatní charakteristiky

Tabulka 3: Ostatní charakteristiky měřených půd [20]

Půda	Obsah CaCO ₃	pH	Celkový obsah organického uhlíku	Stabilita agregátů
	[%]	[-]	[%]	[%]
Býkovice	<0,9	6,9	1,7	63,3
Petzenkirchen	3,9	7,5	1,5	41,8
Mistelbach	10,3	7,8	1,6	16,3

Další charakteristika, která byla zjišťována je obsah uhličitánů, konkrétně uhličitanu vápenatého. Tyto uhličitany jsou významnou složkou minerálního půdního podílu. Jejich přítomnost výrazně ovlivňuje půdní vlastnosti. Mají výraznou tlumící schopnost a vliv při nasycování sorpčního komplexu. [21] Jak je vidět ve výše uvedené tabulce, obsah uhličitanu se na jednotlivých půdách velmi liší. Nejvyšší obsah těchto uhličitánů vykazuje půda z lokality *Mistelbach* (10,3 %), zatímco půda z lokality *Býkovice* vykazuje hodnotu více než desetkrát nižší (<0,9 %).

Jako další charakteristika byla zjišťována kyselost půdy (pH). Považuje se za základní chemickou vlastnost půdy. Má vliv na přeměny organické hmoty v půdě a půdotvorné procesy. Také má vliv na růst rostlin a na přítomnost půdních organismů. [22] Mezi testovanými půdami vykazuje půda z lokality *Býkovice* pH 6,9, řadí se tedy mezi půdy neutrální. Půdy z rakouských lokalit (*Petzenkirchen*, *Mistelbach*) vykazují pH 7,5 a 7,8, proto jsou řazeny mezi půdy zásadité.

Jako následující charakteristika byl zjišťován celkový obsah organického uhlíku (TOC). Uhlík, který je obsažen v půdě, představuje neoddělitelnou součást půdní organické hmoty. Obsah uhlíku je důležitým ukazatelem kvality a úrodnosti půdy. [1] Hodnoty celkového obsahu organického uhlíku se u zkoumaných půd lišily jen velmi málo (*Býkovice* 1,7 %, *Petzenkirchen* 1,5 %, *Mistelbach* 1,6 %).

Poslední zjišťovanou charakteristikou je stabilita půdních agregátů. Tato vlastnost půdy má zásadní vliv na půdní erozi. Čím je tato stabilita vyšší, tím je půda méně náchylná erozi. Z výše uvedených testovaných půd je patrné, že stabilita půdních agregátů se značně liší. Nejlepší hodnotu vykazuje půda z lokality *Býkovice* (63,3 %), která bude odolávat půdní erozi lépe než půda z lokality *Mistelbach*, která vykazuje

hodnotu více než třikrát nižší (16,3 %). Bude tedy mnohem více náchylná půdní erozi.

6.3 Zhodnocení

Z výše změřených půdních charakteristik je patrné, že nejlépe bude odolávat erozi půda z lokality *Býkovice*, která vykazuje hrubší zrnitostní složení a větší stabilitu agregátů než ostatní půdy. Půdy z rakouských lokalit budou díky jemnějšímu zrnitostnímu složení odolávat erozi hůře. Navíc půda z lokality *Mistelbach* vykazuje nejmenší stabilitu půdních agregátů, čímž je navíc ohrožena v případě silných srážek krustací.

7 PŘÍPRAVA VZORKŮ A DAT

Tato kapitola pojednává o přípravě půdních vzorků a jejich následném zpracování po srážce. Tyto následné kroky probíhaly stejně na všech třech stanovištích v Rakousku a České republice.

7.1 Příprava a instalace půdních vzorků

Pro každé měřicí stanoviště se pro jednu událost připravovalo minimálně devět půdních vzorků. Pro každý půdní typ byly připraveny tři vzorky. Na stanovišti *Petzenkirchen* bylo na několik událostí připraveno půdních vzorků dvanáct. Pro každý typ půdy byly připraveny čtyři půdní vzorky.

Získaná půda byla proseta sítím o velikosti ok 10 mm a následně byla plněna do plastových vzorkovnic. Aby se zabránilo ztrátám půdy z otvorů, které vzorkovnice obsahuje, je na dno vzorkovnice vložena plastová síťovina o síle 500 μm a hustotě 1000 μm . Následné plnění probíhalo ve dvou vrstvách až po 1 cm pod hranu vzorkovnice. Nakonec byl povrch půdy upraven pomocí tenké tyčinky, aby se dosáhlo homogenizované struktury. [18]

Následně se připravené vzorkovnice s půdou umístily do plastového sběrače a kolem vzorkovnice se umístil referenční prstenec pro další softwarové zpracování (viz *Obrázek 14*). Pod plastový sběrač se umístila nádoba na sběr srážkové vody s rozrušenou půdou (viz *Obrázek 15*).



Obrázek 14: Kalíšek s referenčním prstencem



Obrázek 15: Sběrač s nádobou na sběr vody s rozrušenou půdou

7.2 Příprava pro fotogrammetrické zpracování

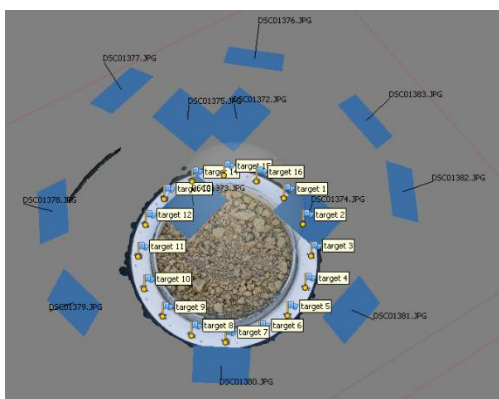
Každý půdní vzorek byl po umístění do plastového sběrače podroben důkladnému fotografování povrchu půdy. Fotografování každého půdního vzorku probíhalo tak, že bylo pořízeno 12 snímků (viz *Obrázek 18*). Čtyři snímky byly pořízeny shora (viz *Obrázek 16*), každý zaměřen na jiný okraj vzorku (kolmo na sebe). Osm snímků bylo pořízeno ze stran pod úhlem cca 60 stupňů (viz *Obrázek 17*). Pořizování snímků probíhalo vždy pomocí stejných fotoaparátů Sony ILCE-6000 (viz *Obrázek 19*). Snímky každé události byly foceny se stejnou ohniskovou vzdáleností, nejčastěji 16 mm. Každý snímek má rozlišení 6000 x 4000 pixelů. Focení vzorků probíhalo po umístění vzorku a poté po srážce, než se půdní vzorky vyměnily.



Obrázek 16: Snímek pořízený shora



Obrázek 17: Snímek pořízený z boku



Obrázek 18: Schéma pořízení snímků (modré obdélníky znázorňují jednotlivou polohu snímků)



Obrázek 19: Fotoaparát Sony ILCE 6000
(Zdroj: <https://www.fotolab.cz>)

7.3 Zpracování vzorků

Po srážce se půdní vzorek vyjmul z plastového sběrače. Plastový sběrač se pomocí vody a gumové stěrky vypláchl od usazených půdních částic, které tím natekly do níže umístěné nádoby. Obsah těchto nádob se poté analyzoval v pedologické laboratoři. Do plastových sběračů se umístily nové půdní vzorky a celý cyklus se opakoval.

V pedologické laboratoři se obsah nádob přefiltroval přes filtrační papír (viz *Obrázek 20*). Poté se filtrační papír s půdními částicemi vysušil v peci při 40 °C. Následně byl tento papír zvážen a byla vypočtena hmotnost půdních částic tzv. **hmotnost splashe**. [18]



Obrázek 20: Filtrační papír s obsahem půdních částic [18]

8 FOTOGRAMMETRICKÉ ZPRACOVÁNÍ DAT

V této práci se získaná data vyhodnocovala pomocí dvou softwarů. Především pomocí softwaru **Agisoft PhotoScan Professional** a v další fázi pomocí softwaru **ArcMap**. Tato kapitola popisuje jednotlivé kroky a postupy v jednotlivých programech.

8.1 Agisoft PhotoScan

Obecně je cílem zpracování fotografií pomocí programu *Agisoft PhotoScan* vytvoření 3D povrchu, orthofota a digitálního modelu povrchu (DSM). V tomto případě odpovídá digitální model povrchu digitálnímu modelu terénu (DEM), jelikož se na půdním vzorku nenachází žádné objekty, které by bylo třeba filtrovat.

Nastavení, použitá v níže uvedených výpočetních krocích, byla v textu označena **tučně**.

8.1.1 Přidání snímků

Provádí se pomocí tlačítka *Add Photos*, které se nachází v panelu *Workspace*.

Před dalším zpracováním snímků je vhodné zkontrolovat jejich kvalitu, respektive ostrost. To lze provést vybráním všech snímků a pomocí pravého tlačítka myši vybrat možnost *Estimate Image Quality*. Pro zobrazení výsledků je potřeba zobrazit snímky jako seznam s podrobnostmi pomocí tlačítka *Details* v panelu *Photos*. Snímky s kvalitou menší než 0,5 je doporučeno nepoužívat. [15]

8.1.2 Zarovnání snímků a vytvoření řídkého mračka bodů

Provádí se vybráním volby *Align Photos*, která se nachází v záložce *Workflow*.

Po vybrání této možnosti se objeví tabulka, kde je potřeba nastavit několik parametrů (viz *Obrázek 21*):

Accuracy – nastavení vyšší přesnosti znamená přesnější odhad pozic fotoaparátu při snímkování. Při nastavení vysoké přesnosti (*High*) software pracuje s fotografiemi velikostí originálu, při každém snížení přesnosti software snižuje

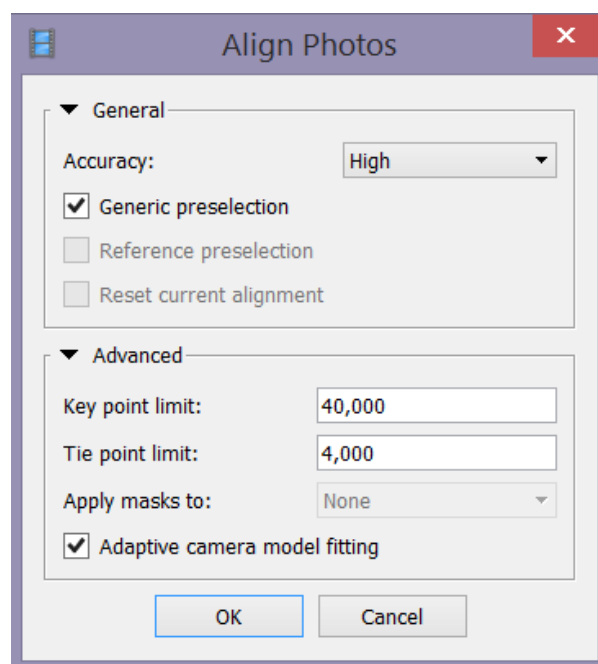
rozlišení fotografií faktorem 4. Nastavením nejvyšší přesnosti (*Highest*) naopak je rozlišení zvýšeno, což je výhodné pro hledání tzv. spojovacích bodů (*Tie points*). Toto nastavení je doporučováno pouze při použití velmi ostrých snímků a pro velmi podrobné výzkumné účely, vzhledem k tomu, že příslušné zpracování je poměrně dost časově náročné. Zde byla použita vysoká přesnost **High** z důvodu potřeby vysoké kvality výstupů a zachování velikosti originálu fotografie.

Generic preselection – zaškrtnutím této volby může být zrychlen výpočet díky odhadu sousedících párů snímků.

Key point limit – maximální množství bodů snímku. Použití nulové hodnoty umožňuje aplikaci PhotoScan najít co nejvíce bodů, ale může to mít za následek velký počet méně spolehlivých bodů. Při výpočtech byla hodnota maximálního množství bodů ponechána defaultní, tedy **40 000**.

Tie point limit – maximální počet spojovacích bodů na snímku. Při výpočtech byla hodnota maximálního počtu spojovacích bodů ponechána defaultní, tedy **4 000**.

Adaptive camera model fitting – tato volba umožňuje automatický výběr parametrů fotoaparátu, které budou zahrnuty do nastavení na základě jejich odhadů spolehlivosti. [15]



Obrázek 21: Dialogové okno pro vytvoření řídkého mračka bodů

8.1.3 Referencování

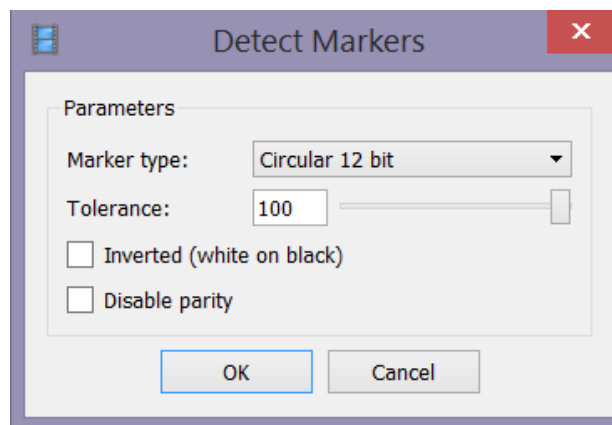
Agisoft PhotoScan používá značky pro určení umístění ve scéně. Čím více fotografií se používá k určení polohy značky, tím vyšší je přesnost umístění značky. V této práci byla použita automatická detekce VB.

Provádí se vybráním volby *Detect Markers*, která se nachází v záložce *Tools* -> *Markers*.

Po vybrání této možnosti se objeví tabulka, kde je potřeba nastavit několik parametrů (viz *Obrázek 22*):

Marker type – je potřeba vybrat typ použitých terčů. Pro tyto výpočty byly použity terče **Circular 12 bit**.

Tolerance – tolerance při automatickém vyhledávání terčů. [15]



Obrázek 22: Dialogové okno pro automatickou detekci VB

Po automatickém umístění VB je možné tyto body na každé fotografii zkontrolovat, popřípadě ručně opravit polohu, či vložit zcela nový VB.

Import souřadnic se pro již umístěné VB provádí pomocí textového souboru se souřadnicemi bodů ve formátu *číslo bodu, x, y, z*. Pro import souřadnic byl vytvořen textový soubor, který obsahuje souřadnice všech 16 bodů, které se nachází na referenčním prstenci (viz *Obrázek 23*). [15]

Markers	X (m)	Y (m)	Z (m)
<input checked="" type="checkbox"/> target 1	0.000000	0.066000	0.000000
<input checked="" type="checkbox"/> target 2	0.025257	0.060976	0.000000
<input checked="" type="checkbox"/> target 3	0.046669	0.046669	0.000000
<input checked="" type="checkbox"/> target 4	0.060976	0.025257	0.000000
<input checked="" type="checkbox"/> target 5	0.066000	0.000000	0.000000
<input checked="" type="checkbox"/> target 6	0.060976	-0.025257	0.000000
<input checked="" type="checkbox"/> target 7	0.046669	-0.046669	0.000000
<input checked="" type="checkbox"/> target 8	0.025257	-0.060976	0.000000
<input checked="" type="checkbox"/> target 9	0.000000	-0.066000	0.000000
<input checked="" type="checkbox"/> target 10	-0.025257	-0.060976	0.000000
<input checked="" type="checkbox"/> target 11	-0.046669	-0.046669	0.000000
<input checked="" type="checkbox"/> target 12	-0.060976	-0.025257	0.000000
<input checked="" type="checkbox"/> target 13	-0.066000	0.000000	0.000000
<input checked="" type="checkbox"/> target 14	-0.060976	0.025257	0.000000
<input checked="" type="checkbox"/> target 15	-0.046669	0.046669	0.000000
<input checked="" type="checkbox"/> target 16	-0.025257	0.060976	0.000000

Obrázek 23: Výpis souřadnic bodů z referenčního prstence

8.1.4 Nastavení hranic modelu

Pomocí tlačítka *Resize Region* je možné nastavit přímo v pracovní ploše velikost prostoru, kde bude následně vytvořen 3D model.

Tímto krokem je tedy možné oříznout řídké mračno bodů tak, aby byl vymodelován jen konkrétní objekt. Tato funkce byla v této práci použita tak, aby se v prostoru vyskytoval pouze kalíšek s půdním vzorkem bez plastového sběrače. Tento postup byl použit kvůli úspoře času a následné velikosti dat.

8.1.5 Tvorba hustého mračna bodů

Provádí se vybráním volby *Build Dense Cloud*, která se nachází v záložce Workflow.

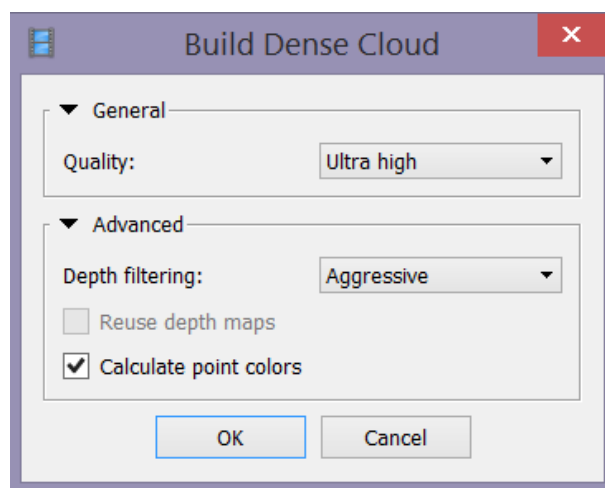
Tento krok je nezbytný pro vytvoření následujících vrstev jako je vytvoření sítě, ortofota a digitálního modelu terénu (DEM).

Následně je potřeba v dialogovém okně vybrat určité parametry (viz Obrázek 24):

Quality – nastavení kvality (*Ultra high, High, Medium, Low, Lowest*). Nastavení vyšší kvality znamená větší přesnost geometrie bodů, ale zároveň se zvyšuje náročnost výpočtu, tudíž výpočet trvá déle. Při nastavení *Ultra high* software pracuje s originálním rozlišením snímků. Každá další nižší úroveň potom snižuje rozlišení

faktorem 4. Jelikož je potřeba dosáhnout co nejlepší kvality, byla zvolena varianta **Ultra high**.

Depth Filtering – filtrace mračna bodů. Nastavení *Mild* je doporučeno tam, kde je v modelu potřeba podrobných detailů. Doporučuje se i pro podrobné UAV data. Nastavení **Aggressive** je doporučeno pro data, kde není vyžadováno hodně detailů např. letecké snímkování. *Moderate* nastavení přináší výsledky mezi Mild a Aggressive. Poslední možnost je *Disabled* (zakázaná filtrace). Ta se však nedoporučuje, neboť výsledek by mohl být extrémně zašuměný. [15]



Obrázek 24: Dialogové okno pro vytvoření hustého mračna bodů

8.1.6 Vytvoření sítě

Provádí se vybráním volby *Build Mesh*, která se nachází v záložce Workflow.

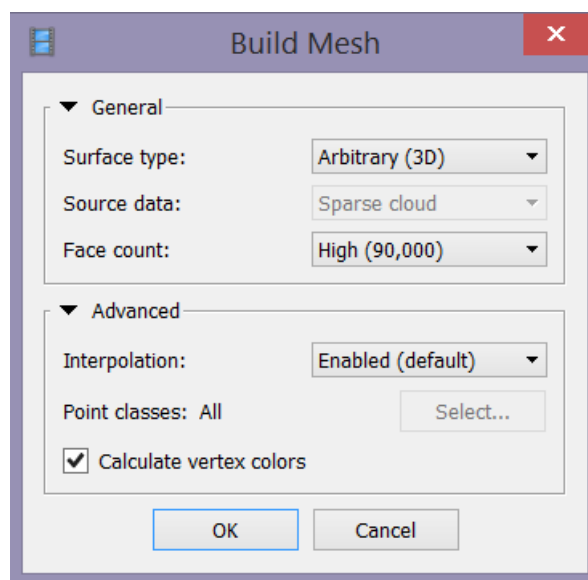
Po vybrání této možnosti se objeví dialogové okno, kde je potřeba nastavit několik parametrů (viz Obrázek 25):

Surface type – možnost **Arbitrary** je vhodná zejména pro uzavřené objekty, avšak spotřebovává velké množství výpočetní paměti. Možnost *Height field* se používá pro modelování rovinných ploch jako jsou například modely terénů. Tato možnost by měla být vybrána pro zpracování leteckých snímků, protože spotřebovává menší množství výpočetní paměti a umožňuje zpracování větších datových sad.

Source data – možností **Sparse cloud** bude 3D model vytvářen pomocí řídkého mračna bodů, zatím co *Dense cloud* využívá hustého mračna bodů, se kterým lze dosáhnout vysoce kvalitního výstupu.

Face count – určuje maximální počet polygonů v konečné vystavěné síti (*High, Medium, Low*). Příliš malé množství polygonů bude mít za následek řídkou síť, naopak velké množství může mít problém s vizualizací modelu v externím softwaru. Pro požadovaný výsledek s vysokou kvalitou bylo zvoleno nastavení **High**.

Interpolation – pokud je režim interpolace *Disabled*, vede k přesným výsledkům, protože plochy odpovídají hustému mračnu bodů. Pomocí funkce *Enabled* bude software interpolovat některé plochy v kruhu o určitém poloměru kolem každého bodu. Tímto lze vyplnit některé nežádoucí otvory v modelu. V *Extrapolated* režimu software generuje model bez jediného otvoru s extrapolovanou geometrií. Zde byla použita možnost **Enabled** z důvodu eliminace případných děr v modelu. [15]



Obrázek 25: Dialogové okno pro vytvoření sítě

8.1.7 Vytvoření textury

Provádí se vybráním volby *Build Texture*, která se nachází v záložce Workflow.

Po vybrání této možnosti se objeví dialogové okno, kde je potřeba nastavit několik parametrů (viz *Obrázek 26*):

Mapping mode – volba režimu mapování textur pomáhá získat optimální texturu a v důsledku toho lepší vizuální kvalitu konečného modelu. Jako přednastavený režim je zde zvolen *Generic*, který umožňuje parametrizovat textury pro libovolné geometrie. Program se pokusí vytvořit co nejvíce jednotnou texturu. V režimu *Adaptive orthophoto* je povrch objektu rozdělen na plochou část a vertikální oblasti. Plochá část povrchu je texturovaná pomocí ortografické projekce, zatímco vertikální regiony jsou texturovány samostatně, aby se v těchto oblastech zachovalo přesné zastoupení textury. Tento režim je vhodný pro zachování dobré kvality textury pro svislé plochy, jako jsou stěny budov. Režim *Orthophoto* vytváří ještě kompaktnější texturu než režim *Adaptive orthophoto*, ale na úkor kvality textury ve svislých oblastech. Režim *Spherical* je vhodný pouze pro určitou třídu objektů, které mají kuličkovou podobu. Poslední režim *Single photo* umožňuje vytvářet texturu z jedné fotografie. Z důvodu vytvořit co nejvíce jednotnou texturu modelu zde byla zvolena varianta **Generic**.

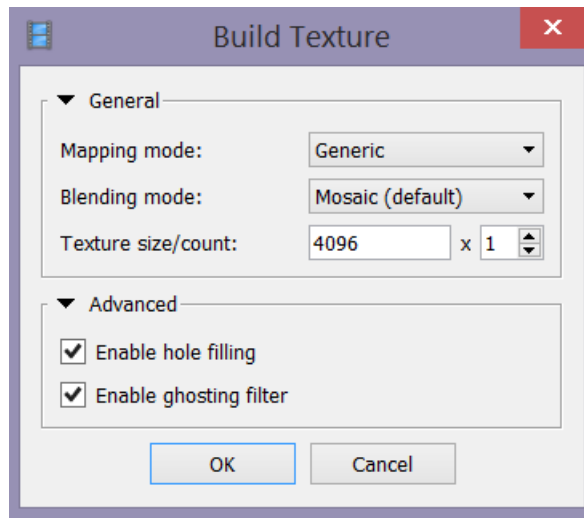
Blending mode – vybírá způsob, jakým budou v konečné struktuře kombinovány hodnoty pixelů z různých fotek. V režimu **Mosaic** je frekvenční složka zodpovědná za detaily obrazu a je převzata z jednoho snímku. Režim *Average* používá váhovou průměrnou hodnotu všech pixelů z jednotlivých fotek. V režimu *Max Intensity* je vybrána fotka, která má maximální intenzitu odpovídajícího pixelu, zatímco v režimu *Min Intensity* je vybrána fotka s minimální intenzitou odpovídajícího pixelu.

Texture size/count – určuje velikost (šířku a výšku) textury v pixelech.

Enable hole filling – tato volba pomáhá potlačit nežádoucí efekty v případě komplikovaných povrchů s četnými drobnými díly zastíněny jinými částmi modelu.

Enable ghosting filter – používá se v případě, že scéna obsahuje pohyblivé předměty, které se nepodařilo zrekonstruovat jako součást polygonálního modelu.

[15]



Obrázek 26: Dialogové okno pro vytvoření textury

8.1.8 Tvorba digitálního modelu terénu (DEM)

Digitální model terénu (DEM) lze vytvořit pouze za předpokladu, že bylo vytvořeno husté mračno bodů (dense cloud) nebo síť (mesh). Vytvoření digitálního modelu terénu je přesnější z hustého mračna bodů. Digitální model terénu lze vytvořit pouze pro zreferencované modely.

Provádí se vybráním volby *Build DEM*, která se nachází v záložce *Workflow*.

Po vybrání této možnosti se objeví dialogové okno, kde je potřeba nastavit několik parametrů:

Projection type – typ **Geographic** je souřadnicový systém, který byl dříve vybrán pro samotný model. Režim *Cylindrical* umožňuje promítat digitální model terénu na válcovitý povrch.

Source data – doporučuje se vypočítat digitální model terénu na základě dat hustého mračna bodů.

Interpolation – pokud je režim interpolace *Disabled*, vede k přesným výsledkům, protože plochy odpovídají hustému mračnu bodů. V režimu **Enabled** software vypočítá digitální model terénu pro všechny oblasti objektu, které jsou viditelné alespoň na jednom snímku. [15]

8.1.9 Tvorba ortofota

Provádí se vybráním volby *Build Orthomosaic*, která se nachází v záložce Workflow.

Po vybrání této možnosti se objeví dialogové okno, kde je potřeba nastavit několik parametrů (viz *Obrázek 27*):

Projection type – typ **Geographic** je souřadnicový systém, který byl dříve vybrán pro samotný model. Typ *Planar* umožňuje projektovat ortofoto na rovinu nastavenou uživatelem. Rovina může být určena sadou značek (pokud nejsou alespoň požadované 3 značky, projekční rovina může být specifikována pomocí 2 vektorů, respektive 4 značkami). Poslední režim *Cylindrical* umožňuje promítat digitální model terénu na válcovitý povrch.

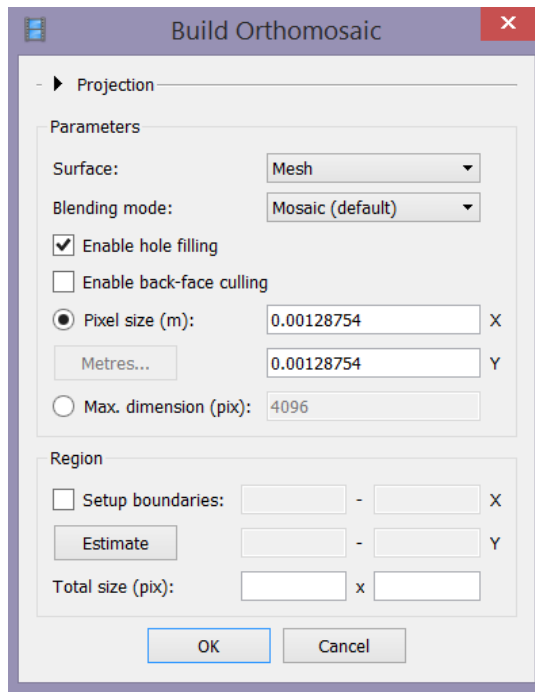
Surface – tvorba ortofota, založená na datech digitálního modelu terénu (*DEM*) je obzvláště účinná při zpracování dat leteckého snímkování. Lze také použít data sítě (*Mesh*).

Blending mode – režim **Mosaic** implementuje přístup s datovým rozdělením do několika frekvenčních oblastí. Režim *Average* používá váhovou průměrnou hodnotu všech pixelů z jednotlivých fotek. Při režimu *Disabled* je hodnota barvy pixelu převzata z fotografie.

Pixel Size – hodnota pro velikost pixelů, označuje výsledné rozlišení ortofota. Tato hodnota se může měnit v jednotkách souřadnicového systému nebo v metrech.

Max. dimension – umožňuje nastavit maximální rozměr výsledných rastrových dat.

[15]

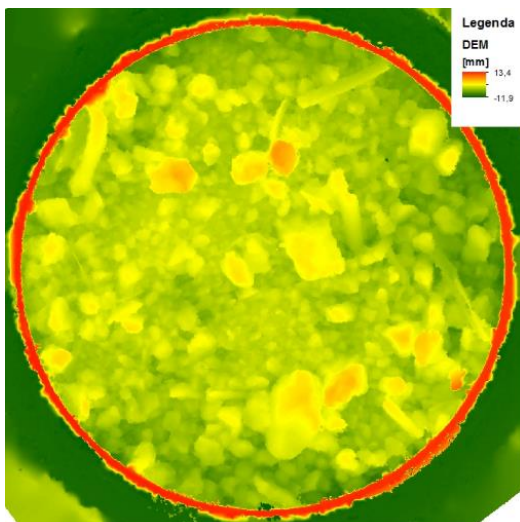


Obrázek 27: Dialogové okno pro vytvoření ortofota

8.1.10 Export výsledků

Provádí se vybráním volby *Export*, která se nachází v záložce *File*.

V této práci byly použity jako výstupy především digitální modely terénu (DEM) a digitální ortofota).



Obrázek 28: Vyexportovaný digitální model terénu (vizualizováno v programu ArcMap)



Obrázek 29: Vyexportované digitální ortofoto

8.1.11 Export zprávy

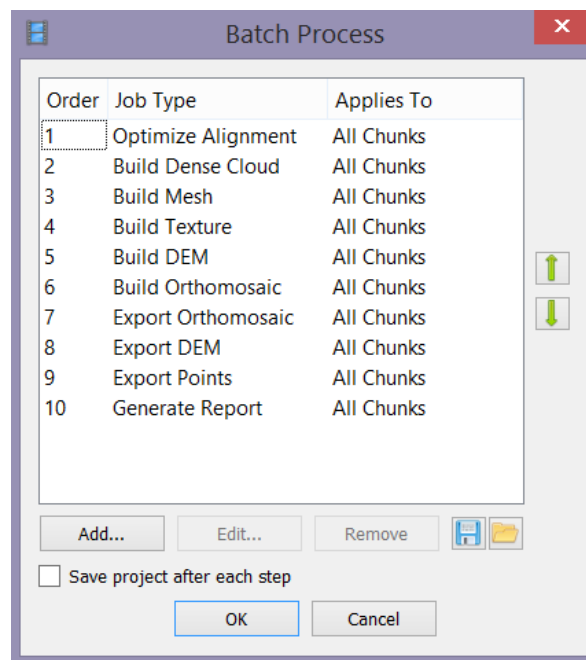
Provádí se vybráním volby *Generate Report*, která se nachází v záložce *File*.

Touto funkcí se vygeneruje zpráva ve formátu PDF, ve které se nacházejí veškeré nastavení výpočtů a výsledků. Lze zde také zjistit odchylky při automatické detekci vlíčovacích bodů.

8.1.12 Automatický výpočet

Provádí se vybráním volby *Batch Process*, která se nachází v záložce *Workflow*.

Většinu zde zmíněných úkonů lze vypočítat pomocí tzv. *Batch Process*, do kterého se řadí jednotlivé úkony tak, jak mají jít za sebou a poté se úkony automaticky vypočítají (viz *Obrázek 30*). Není však úplně vhodné dávat do *Batch Process* některé úkony (např. automatickou detekci VB), u kterých je vhodná vizuální kontrola výstupních dat a jednotlivých výsledků.



Obrázek 30: Dialogové okno Batch procesu

8.1.13 Kvalita výpočtů

Kvalita jednotlivých zpracovaných vzorků se může lišit. To může být způsobeno několika faktory:

- Kvalita pořízených snímků (ostrost)
- Počet použitých snímků ve výpočtu (pro některé vzorky bylo použito méně než 12 snímků)
- Nevhodné světelné podmínky při snímkování vzorků – vrhání stínů na zpracováváný povrch (částečně eliminováno zastíněním vzorku)

Vygenerované modely, které vykazovaly zhoršenou kvalitu z výše uvedených příčin, nebyly použity do dalšího vyhodnocování. Použité vygenerované modely dosahovaly přesnosti od 0,04 mm/pix do 0,07 mm/pix, kde průměrná přesnost se pohybovala okolo **0,05 mm/pix**.

8.2 ArcMap

Zatímco v programu *Agisoft PhotoScan* se půdní vzorky zpracovávaly každý jednotlivě, v programu *ArcMap* se vzorky zpracovávaly jako jedna srážková událost (9 (12) půdních vzorků nasnímaných před a po srážce).

Jako vstupní data do programu *ArcMap* byly použity především digitální modely terénu, které byly vygenerovány programem *Agisoft PhotoScan*.

8.2.1 Vložení vstupních dat

Pro každou událost byl vytvořen samostatný projekt, který byl ukládán do jednotlivých složek událostí pod názvem ve formátu RRRRMMDD. Pod stejným názvem byla také vytvořena geodatabáze, kam se jednotlivé výsledky ukládaly.

Do již zmiňovaného skriptu „*Process splash sample DEMs*“ [23] byly vloženy složky s jednotlivými půdními vzorky (viz *Obrázek 31*). Aby skript tyto složky rozeznal, byl zvolen formát názvů složek následovně:

XYZ_RRRRMMDD

Kde,

X – název půdy (A – Petzenkirchen, B – Mistelbach, C – Býkovice)

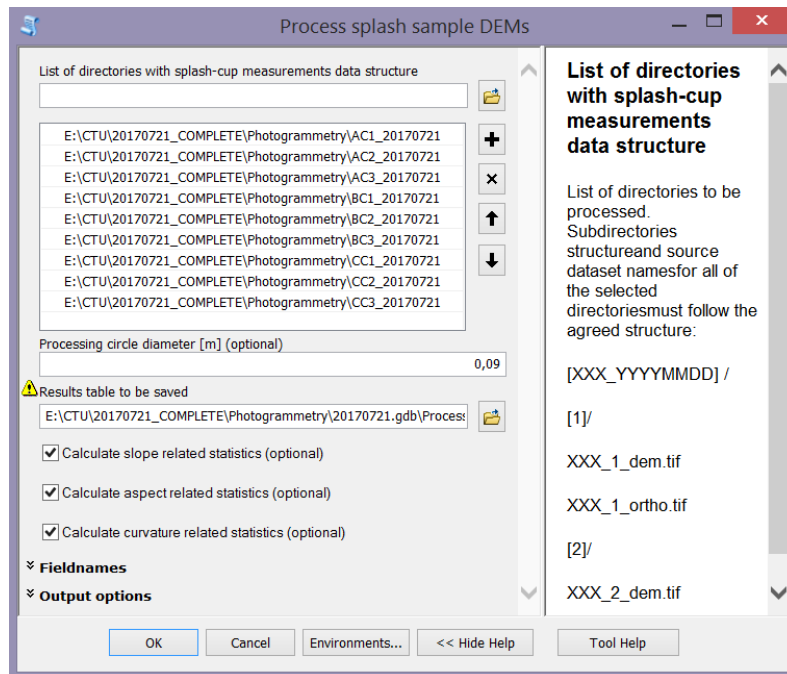
Y – název stanoviště (P – Petzenkirchen, M – Mistelbach, C – Praha (CTU),
I – Praha (IAP))

Z – číslo půdního vzorku (1, 2, 3, 4)

RRRR – rok sebrání vzorků po srážce

MM – měsíc sebrání vzorků po srážce

DD – den sebrání vzorků po srážce

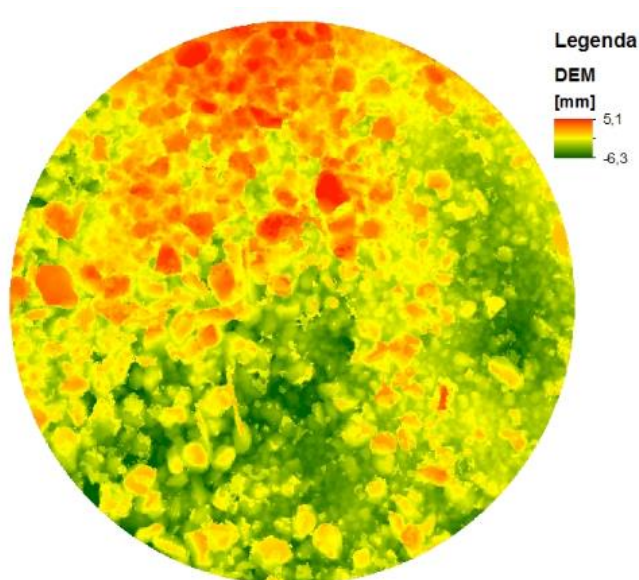


Obrázek 31: Dialogové okno skriptu „Process splash sample DEMs“

Po vložení zmíněných složek se skript mohl spustit.

8.2.2 Výpočet charakteristik

Po spuštění si skript sám nalezne ve vložených složkách digitální modely terénu, které ořízne kruhem o průměru 90 mm (viz Obrázek 32). Tento krok byl proveden, aby výsledné charakteristiky neovlivňoval okraj splash cupu a půda kolem tohoto okraje, která by byla značně nehomogenní. Následně z tohoto oříznutého modelu terénu byly vypočteny morfometrické charakteristiky povrchu půdního vzorku.



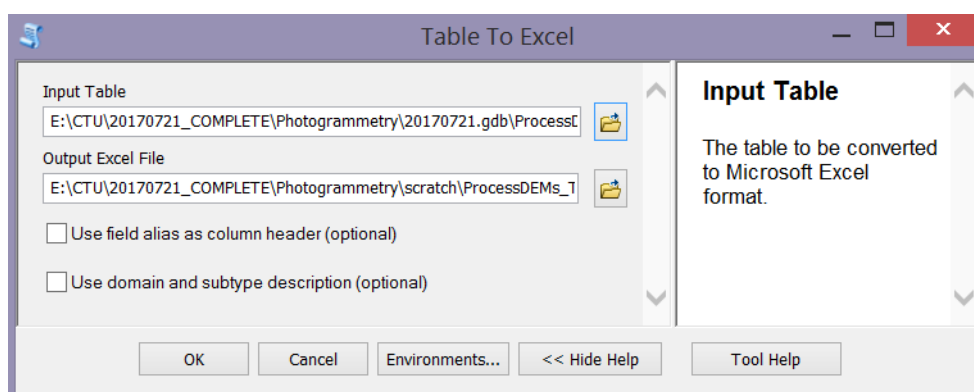
Obrázek 32: ořáznutý digitální model terénu (vizualizováno v programu ArcMap)

Po výpočtech morfometrických charakteristik povrchu skript také vypočetl charakteristiky průměrné, které zapisoval do atributové tabulky. Celkový čas tohoto výpočtu činil cca 30 minut.

8.2.3 Export výsledků

Pro tuto práci byly použity průměrné morfometrické charakteristiky povrchu. Proto bylo nutné tato data vyexportovat.

To bylo provedeno pomocí nástroje *Table To Excel*, který dokáže atributovou tabulku vyexportovat ve formátu XLS (Microsoft Excel). Po výběru tohoto nástroje se objeví dialogové okno, kde je potřeba nastavit cestu, kde je uložena atributová tabulka a místo uložení exportované tabulky (viz *Obrázek 33*). Z vyexportovaných charakteristik byly použity především: výška nasypání, konsolidace a drsnost povrchu půdního vzorku.



Obrázek 33: Dialogové okno nástroje *Table To Excel*

9 ZMĚNY MORFOMETRICKÝCH CHARAKTERISTIK POVRCHU A HODNOT SMYVU VLIVEM SRÁŽKY

Tato kapitola popisuje vztahy mezi morfologickými charakteristikami půd a charakteristikami srážek. Pro všechny zde uvedené vztahy byly použity průměrné hodnoty půdních charakteristik (průměrná hodnota ze tří vzorků stejné půdy, ze stejné srážkové události). Byly vyhodnocovány tyto vztahy:

- Konsolidace půdy versus kinetická energie srážky
- Konsolidace půdy versus srážkový úhrn
- Hmotnost splashe versus kinetická energie srážky
- Hmotnost splashe versus srážkový úhrn
- Konsolidace versus hmotnost splashe

Konsolidace půdy představuje pokles nebo vzestup půdního povrchu vzorku, vypočtený jako rozdíl výšek půdního vzorku po a před srážkou. Záporná hodnota konsolidace značí pokles půdního povrchu, zatímco kladná hodnota značí vzestup (bobtnání) půdního povrchu.

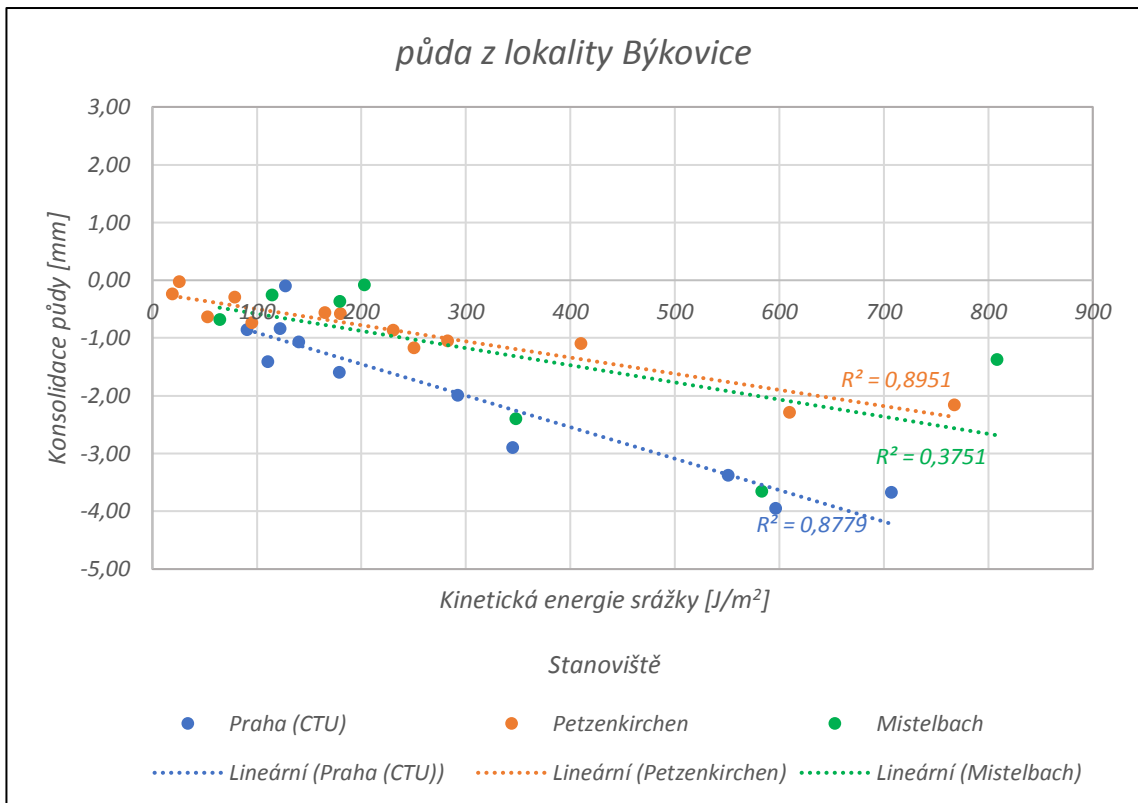
Hmotnost splashe představuje hmotnost částic půdy, které se oddělily od půdního povrchu vzorku vlivem atmosférické srážky. Hodnota byla měřena v pedologické laboratoři (viz kapitola č. 7).

Kinetická energie představuje energii, kterou srážka rozrušuje půdní povrch. Byla měřena na každém stanovišti pomocí *disdrometru*.

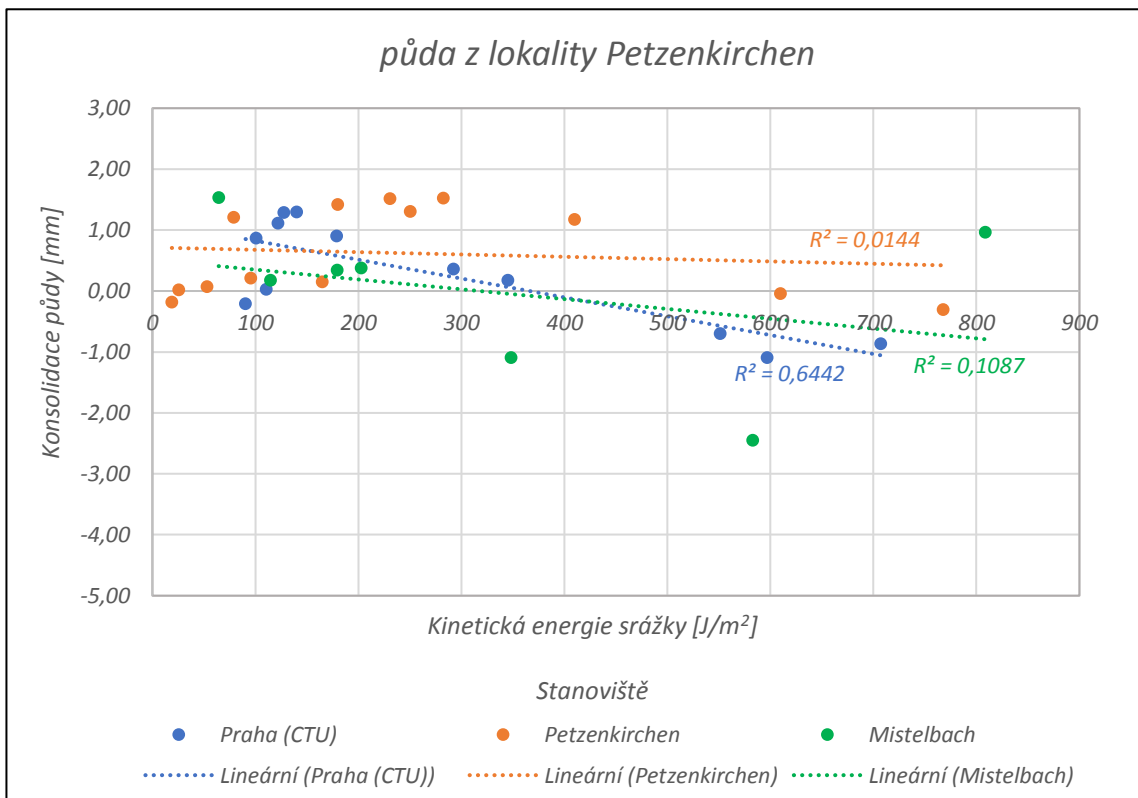
Srážkový úhrn představuje množství srážek, které dopadly na povrch. Byl měřen na každém stanovišti pomocí *srážkoměru*.

Všechny zde vyobrazené grafy vztahů obsahují data událostí z rozdílných stanovišť. Proto jsou tato data barevně rozdělena podle měřících stanovišť.

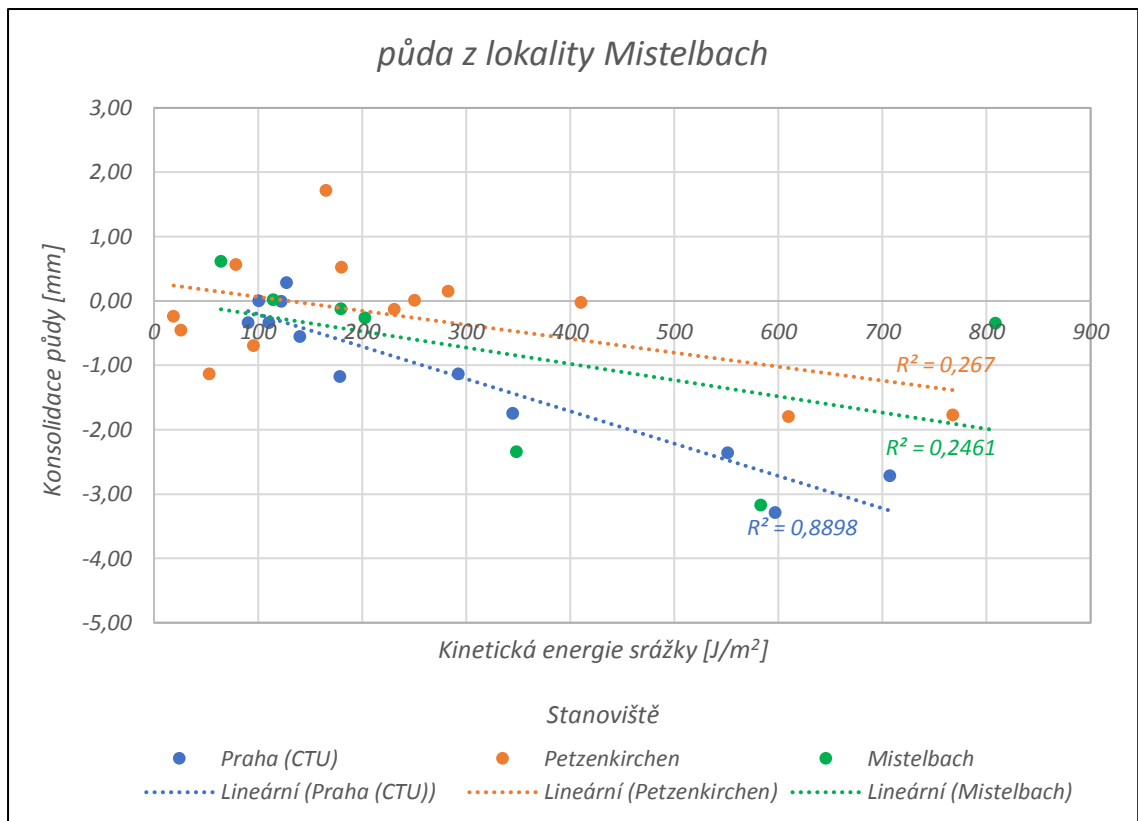
9.1 Vztah mezi konsolidací půdy a kinetickou energií srážky



Graf 1: Vztah mezi konsolidací půdy a kinetickou energií srážky na půdě z lokality Býkovice



Graf 2: Vztah mezi konsolidací půdy a kinetickou energií srážky na půdě z lokality Petzenkirchen



Graf 3: Vztah konsolidací půdy a kinetickou energií srážky na půdě z lokality Mistelbach

Na grafech č. 1-3 je znázorněn vztah mezi konsolidací půdních vzorků a kinetickou energií srážek. Na každém grafu je znázorněn vztah pro jeden druh půdy.

Pro tento vztah byla využita naměřená data z celkem 31 událostí, z toho 11 událostí ze stanoviště *Praha (CTU)*, 13 událostí ze stanoviště *Petzenkirchen* a 7 událostí ze stanoviště *Mistelbach*.

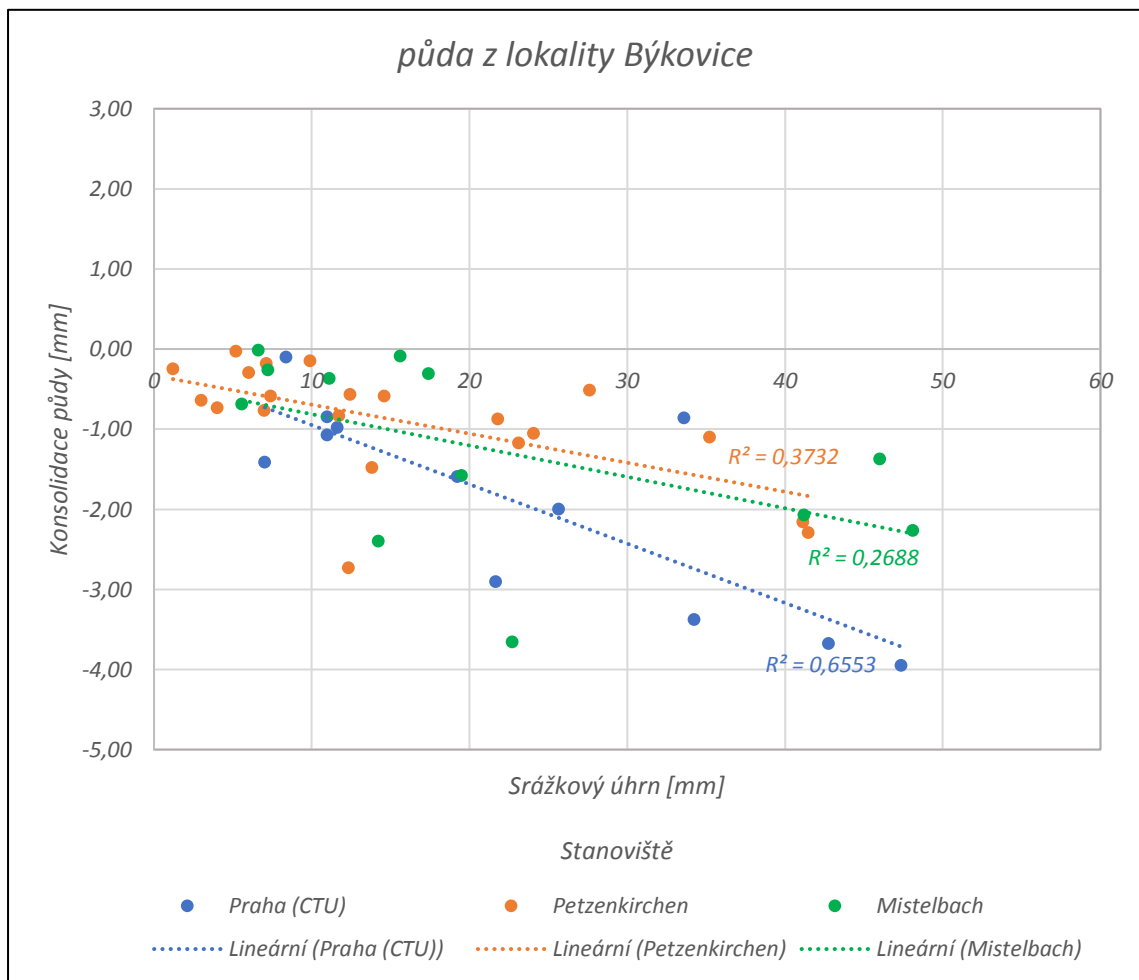
U půdy z lokality *Býkovice* (viz *Graf 1*) lze pozorovat, že konsolidace půdy je zde pouze záporná, tudíž dochází k poklesu půdního povrchu. Tato konsolidace závisí především na velikosti kinetické energie srážky. S přibývajícím kinetickou energií roste pokles půdního vzorku. Na rozdíl od půdy z lokality *Býkovice* vykazují rakouské půdy (půda z lokalit *Petzenkirchen* a *Mistelbach*) v oblastech nízkých kinetických energií konsolidaci kladnou, tudíž vzestup půdního vzorku (viz *Graf 2*, *Graf 3*). Vzestup půdy bude pravděpodobně způsoben především složením těchto půd, kde rakouské půdy obsahují více jílových částic.

Hodnoty konsolidace a kinetické energie se pohybují v rozmezích znázorněných v následující tabulce.

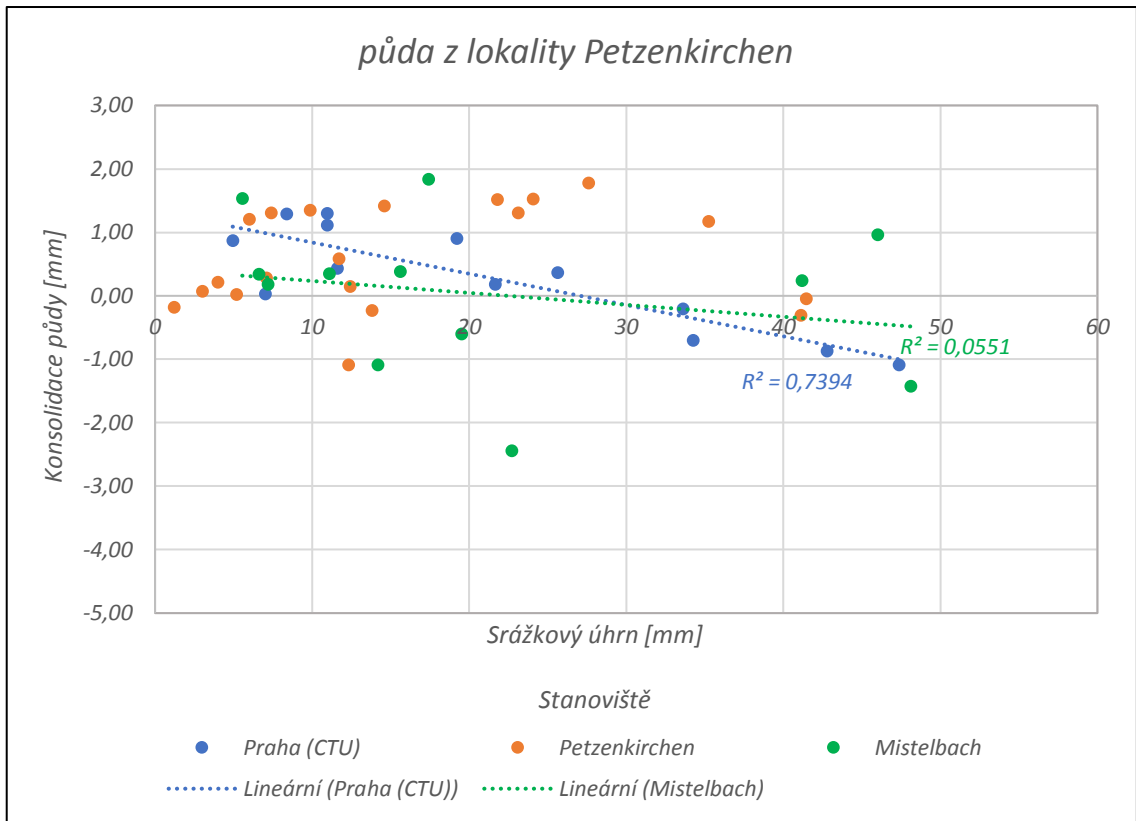
Tabulka 4: Rozmezí hodnot konsolidace a kinetické energie na jednotlivých půdách

Půda z lokality	Konsolidace [mm]	Kinetická energie [J/m ²]
Býkovice	-3,95 – 0,00	19 – 808
Petzenkirchen	-2,45 – 1,55	19 – 808
Mistelbach	-3,30 – 1,70	19 – 808

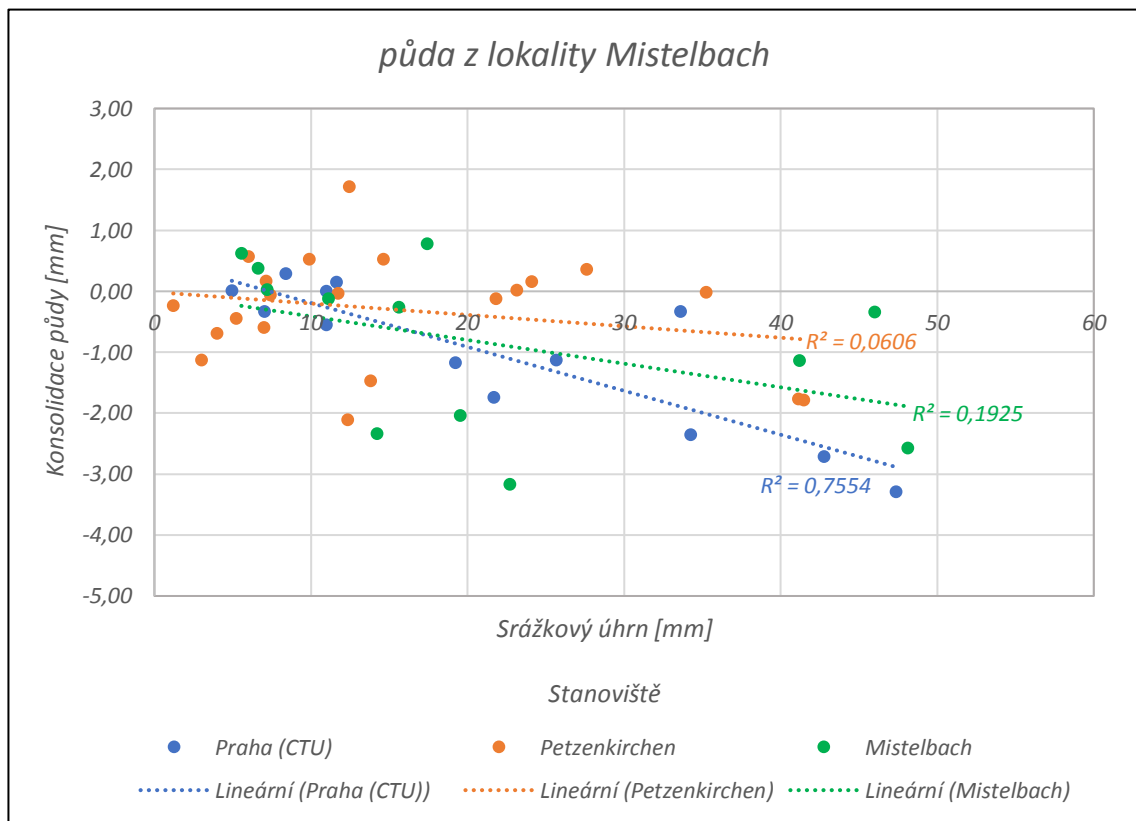
9.2 Vztah mezi konsolidací půdy a srážkovým úhrnem



Graf 4: Vztah mezi konsolidací půdy a srážkovým úhrnem na půdě z lokality Býkovice



Graf 5: Vztah mezi konsolidací půdy a srážkovým úhrnem na půdě z lokality Petzenkirchen



Graf 6: Vztah mezi konsolidací půdy a srážkovým úhrnem na půdě z lokality Mistelbach

Na grafech č. 4-6 je znázorněn vztah mezi konsolidací půdních vzorků a srážkovým úhrnem. Na každém grafu je znázorněn vztah pro jeden druh půdy.

Pro tento vztah byla využita naměřená data z celkem 45 událostí, z toho 12 událostí ze stanoviště *Praha (CTU)*, 21 událostí ze stanoviště *Petzenkirchen* a 12 událostí ze stanoviště *Mistelbach*.

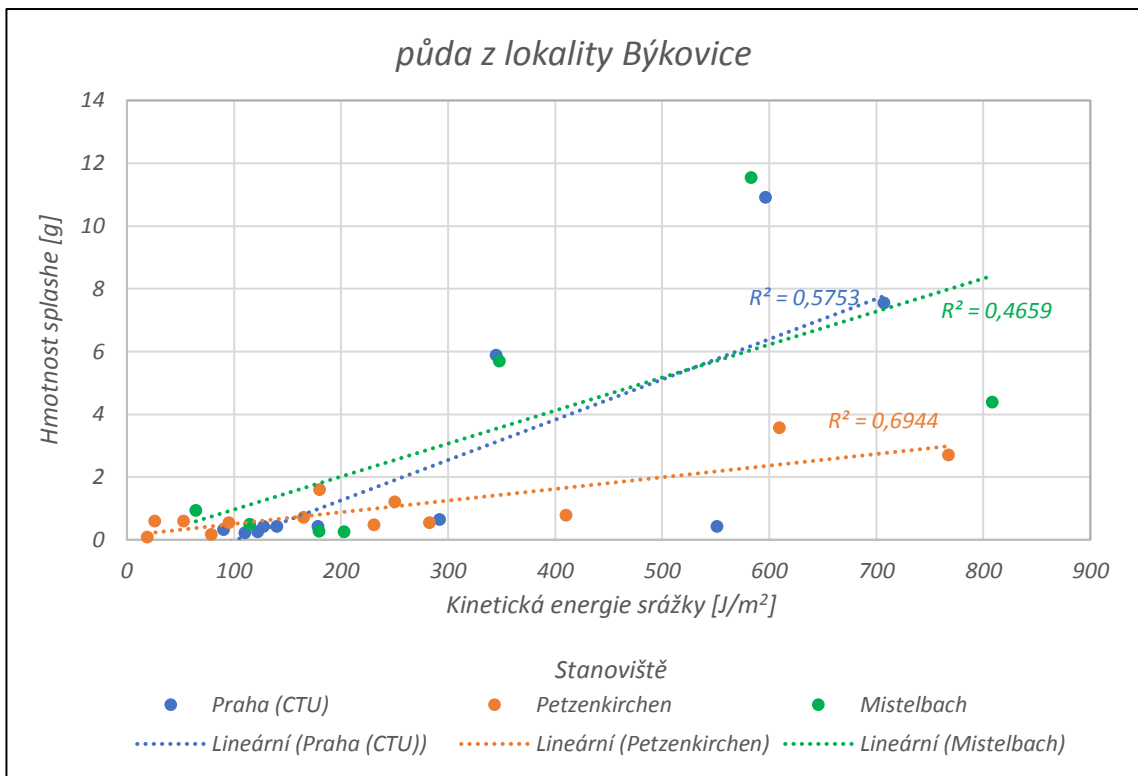
Jak již bylo zmíněno v předchozím vztahu, půda z lokality *Býkovice* (viz *Graf 4*) vykazuje konsolidaci pouze zápornou, tudíž dochází k poklesu půdního povrchu. Na rozdíl od půdy z lokality *Býkovice* vykazují rakouské půdy data velice rozdílná. Nelze prakticky hovořit o vztahu, neboť hodnoty spolehlivosti u rakouských půd jsou velmi nízké (viz *Graf 5*, *Graf 6*). To je způsobeno tím, že srážkový úhrn není zcela vhodný ukazatel významnosti srážky. Může se vyskytnout srážka, která bude mít velký srážkový úhrn, ale zato malou srážkovou intenzitu. Srážky s malou srážkovou intenzitou nejsou z hlediska půdní eroze moc nebezpečné. Proto jako ukazatel významnosti srážky bude v dalších kapitolách použita pouze kinetická energie srážek.

Hodnoty konsolidace a srážkového úhrnu se pohybují v rozmezích znázorněných v následující tabulce.

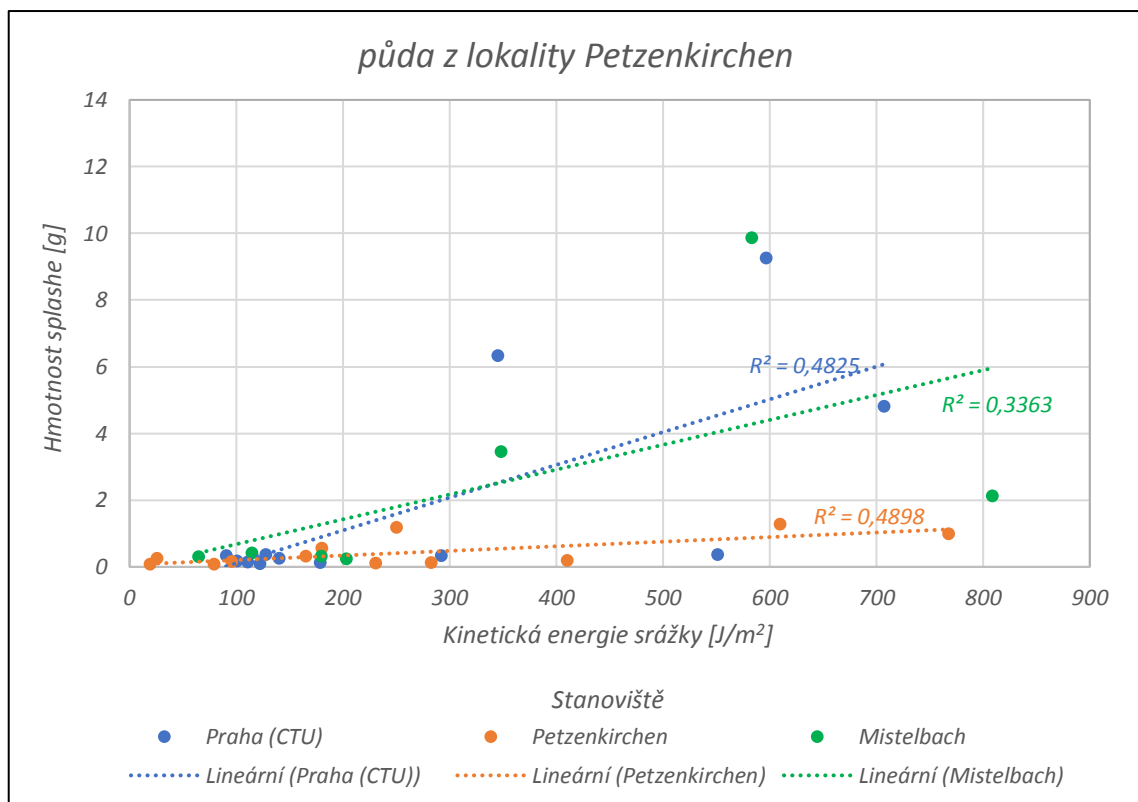
Tabulka 5: Rozmezí hodnot konsolidace a srážkového úhrnu na jednotlivých půdách

Půda z lokality	Konsolidace [mm]	Srážkový úhrn [mm]
Býkovice	-3,95 – 0,00	1 – 48
Petzenkirchen	-2,45 – 1,85	1 – 48
Mistelbach	-3,30 – 1,70	1 – 48

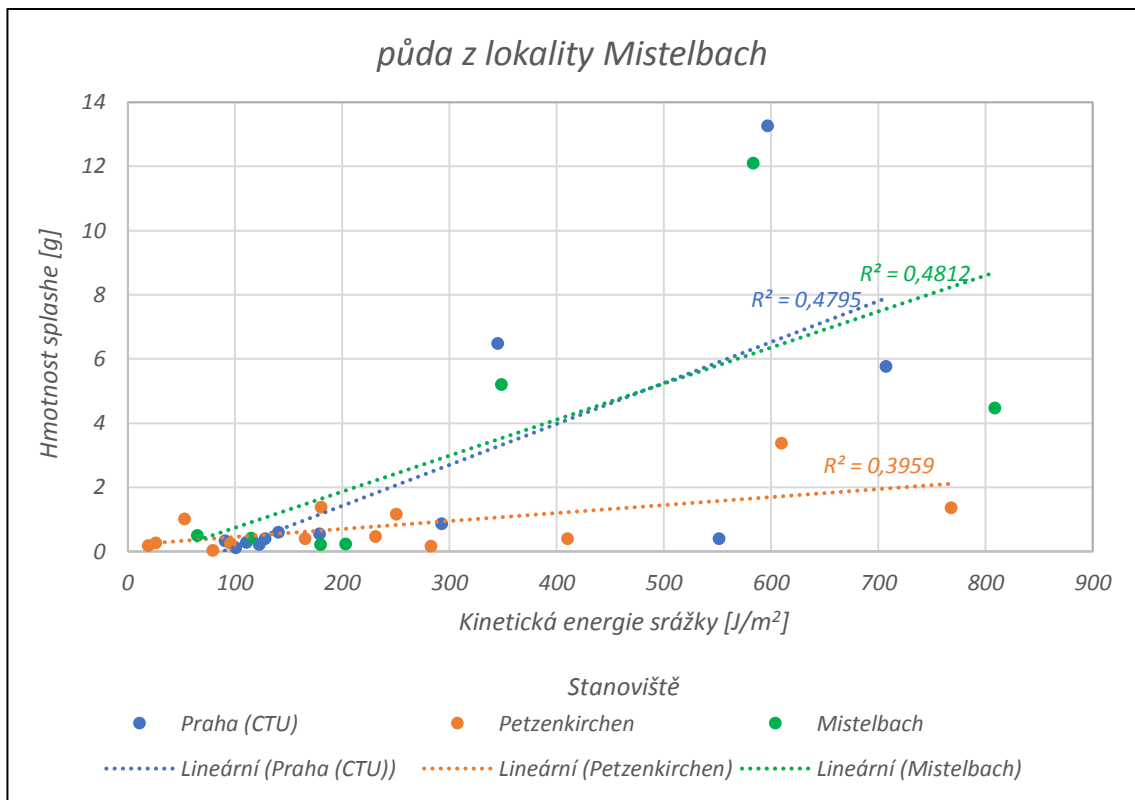
9.3 Vztah mezi hmotností splashe a kinetickou energií srážky



Graf 7: Vztah mezi hmotností splashe a kinetickou energií srážky na půdě z lokality Býkovice



Graf 8: Vztah mezi hmotností splashe a kinetickou energií srážky na půdě z lokality Petzenkirchen



Graf 9: Vztah mezi hmotností splashe a kinetickou energií srážky na půdě z lokality Mistelbach

Na grafech č. 7-9 je znázorněn vztah mezi hmotností splashe a kinetickou energií srážek. Na každém grafu je znázorněn vztah pro jeden druh půdy

Pro tento vztah byla využita naměřená data z celkem 31 událostí, z toho 11 událostí ze stanoviště *Praha (CTU)*, 13 událostí ze stanoviště *Petzenkirchen* a 7 událostí ze stanoviště *Mistelbach*.

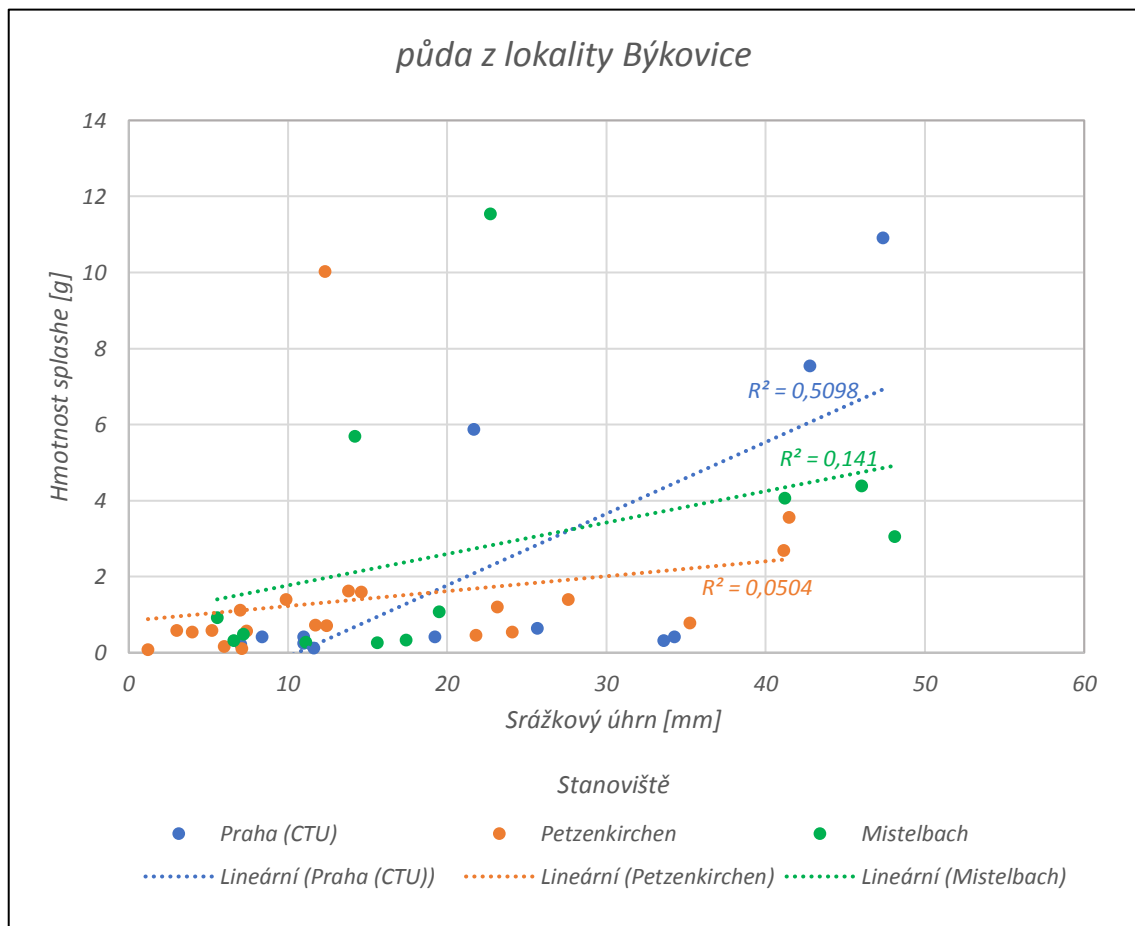
Jak lze vyčíst z grafů č. 7-9, do hodnoty kinetické energie srážky 300 J/m² se všechny tři půdy chovají velice podobně. Vykazují malé hodnoty hmotnosti splashe. S rostoucí kinetickou energií se hmotnost splashe u stanoviště *Petzenkirchen* mírně zvyšuje. U stanovišť *Praha (CTU)* a *Mistelbach* lze pozorovat, že dvě události vykazují výrazně vyšší hodnoty hmotnosti splashe. Při tomto vztahu tedy nebude záviset jen na velikosti kinetické energie, ale i na jiné veličině, která bude zjišťována v následující kapitole.

Hodnoty hmotnosti splashe a kinetické energie srážky se pohybují v rozmezích znázorněných v následující tabulce.

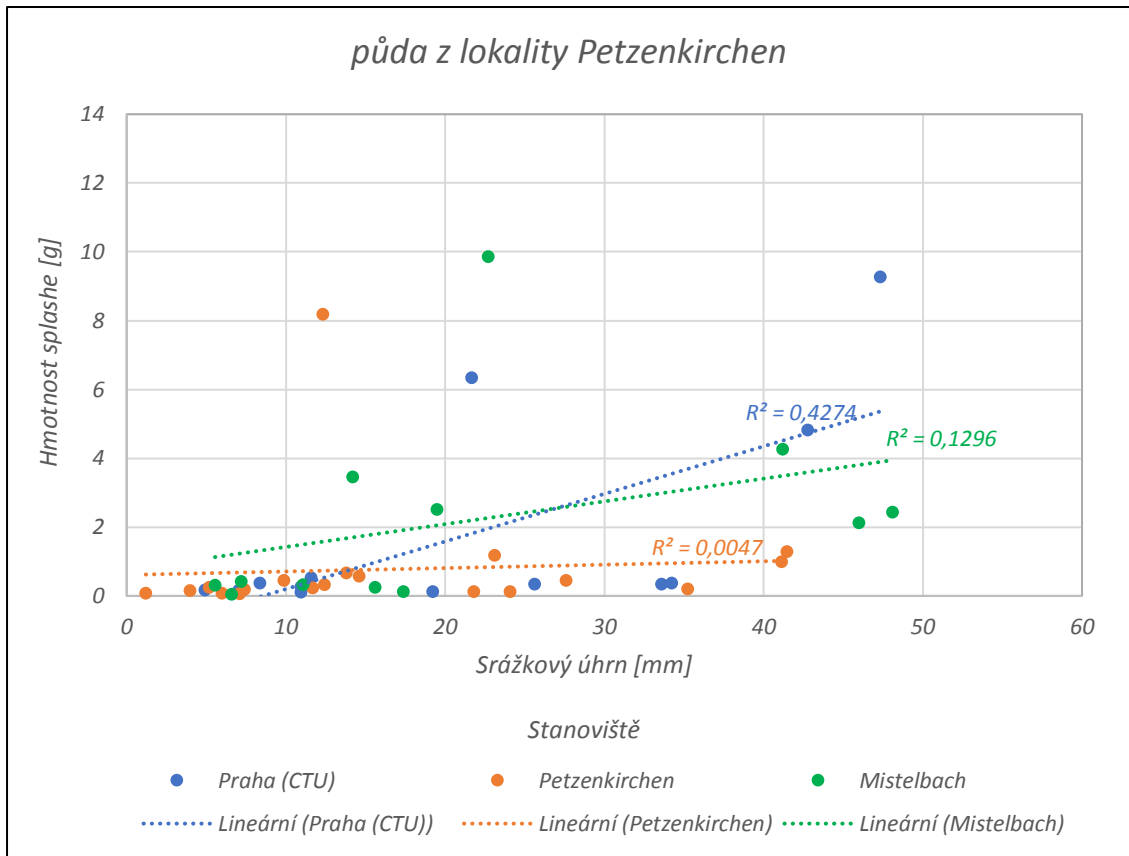
Tabulka 6: Rozmezí hodnot hmotnosti splashe a kinetické energie na jednotlivých půdách

Půda z lokality	Hmotnost splashe [g]	Kinetická energie [J/m ²]
Býkovice	0,08 – 11,54	18 – 808
Petzenkirchen	0,07 – 9,86	18 – 808
Mistelbach	0,04 – 13,27	18 – 808

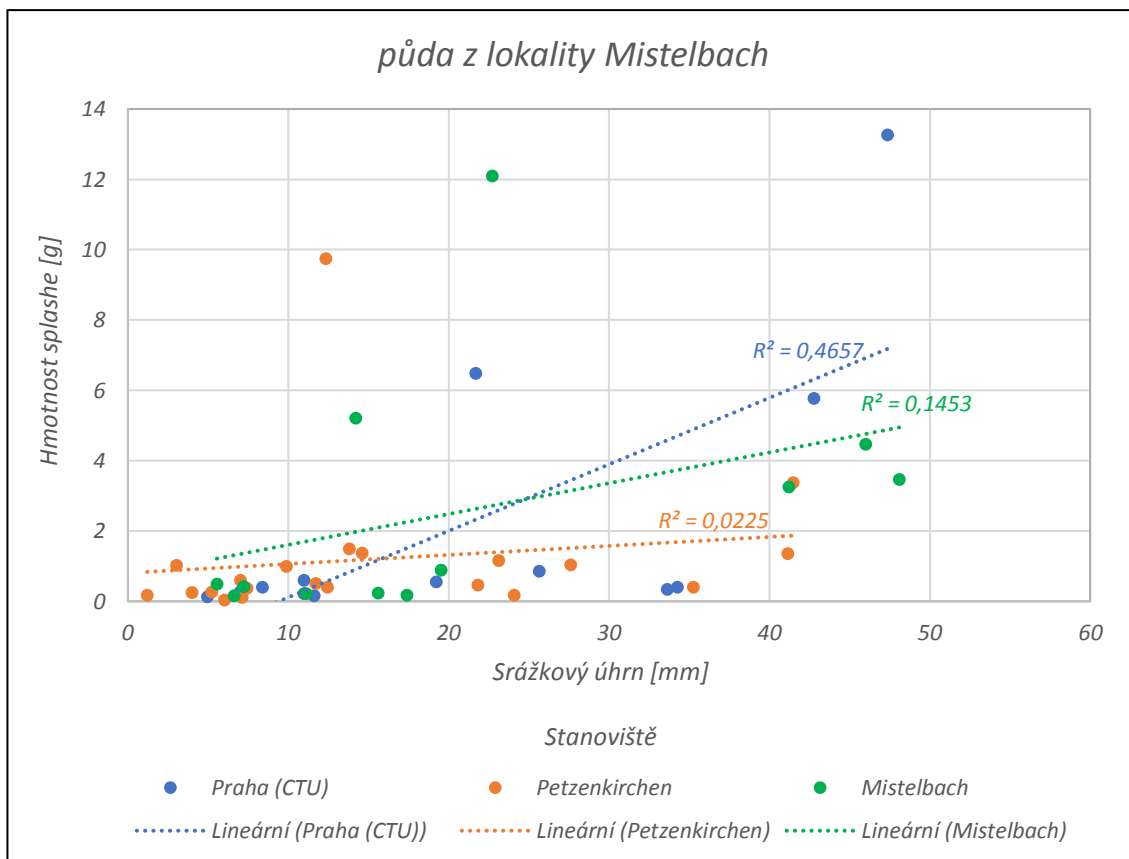
9.4 Vztah mezi hmotností splashe a srážkovým úhrnem



Graf 10: Vztah mezi hmotností splashe a srážkovým úhrnem na půdě z lokality Býkovice



Graf 11: Vztah mezi hmotností splashe a srážkovým úhrnem na půdě z lokality Petzenkirchen



Graf 12: Vztah mezi hmotností splashe a srážkovým úhrnem na půdě z lokality Mistelbach

Na grafech č. 10-12 je znázorněn vztah mezi hmotností splashe a srážkovým úhrnem. Na každém grafu je znázorněn vztah pro jeden druh půdy.

Pro tento vztah byla využita naměřená data z celkem 45 událostí, z toho 12 událostí ze stanoviště *Praha (CTU)*, 21 událostí ze stanoviště *Petzenkirchen* a 12 událostí ze stanoviště *Mistelbach*.

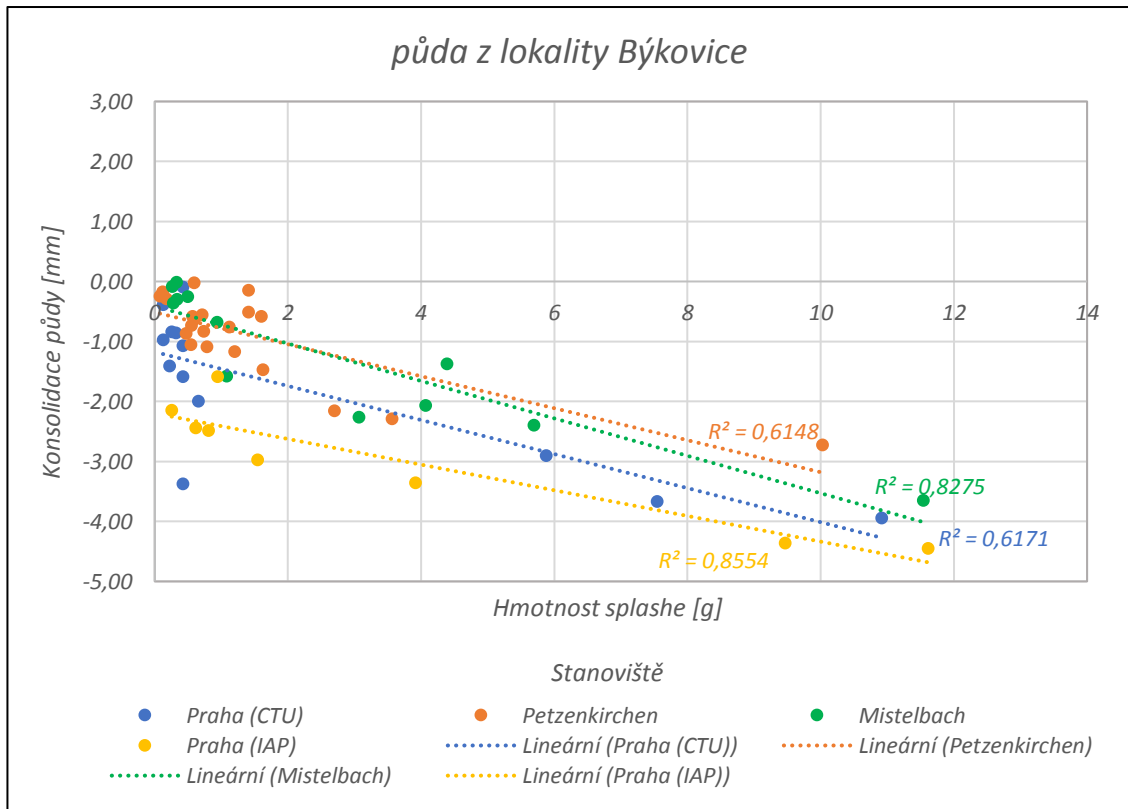
Jak již bylo zmíněno u vztahu konsolidace půdy a srážkového úhrnu, srážkový úhrn není zcela vhodný ukazatel významnosti srážky. To dokazují i nízké hodnoty spolehlivosti tohoto vztahu, oproti vztahu mezi hmotností splashe a kinetickou energií srážky. Proto jako ukazatel významnosti srážky bude v dalších kapitolách použita pouze kinetická energie srážek.

Hodnoty hmotnosti splashe a srážkového úhrnu se pohybují v rozmezích znázorněných v následující tabulce.

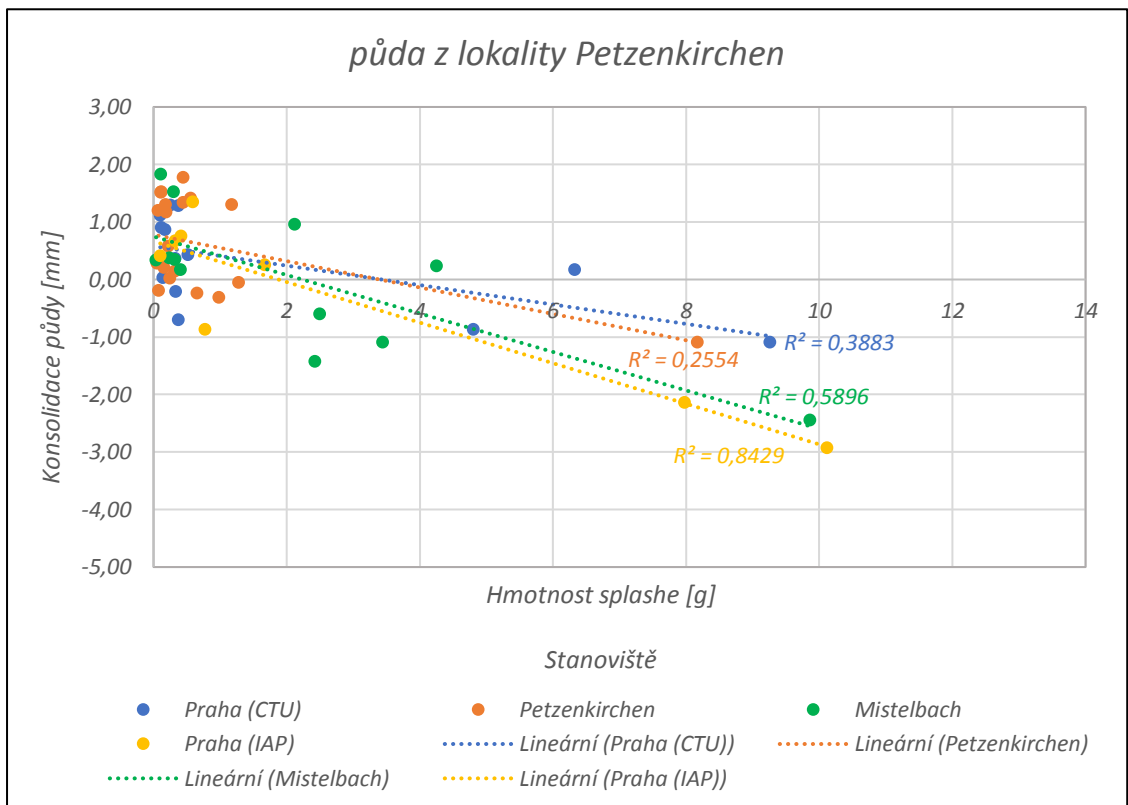
Tabulka 7: Rozmezí hodnot hmotnosti splashe a srážkového úhrnu na jednotlivých půdách

Půda z lokality	Hmotnost splashe [g]	Srážkový úhrn [mm]
Býkovice	0,08 – 11,54	1 – 48
Petzenkirchen	0,04 – 9,86	1 – 48
Mistelbach	0,04 – 13,27	1 – 48

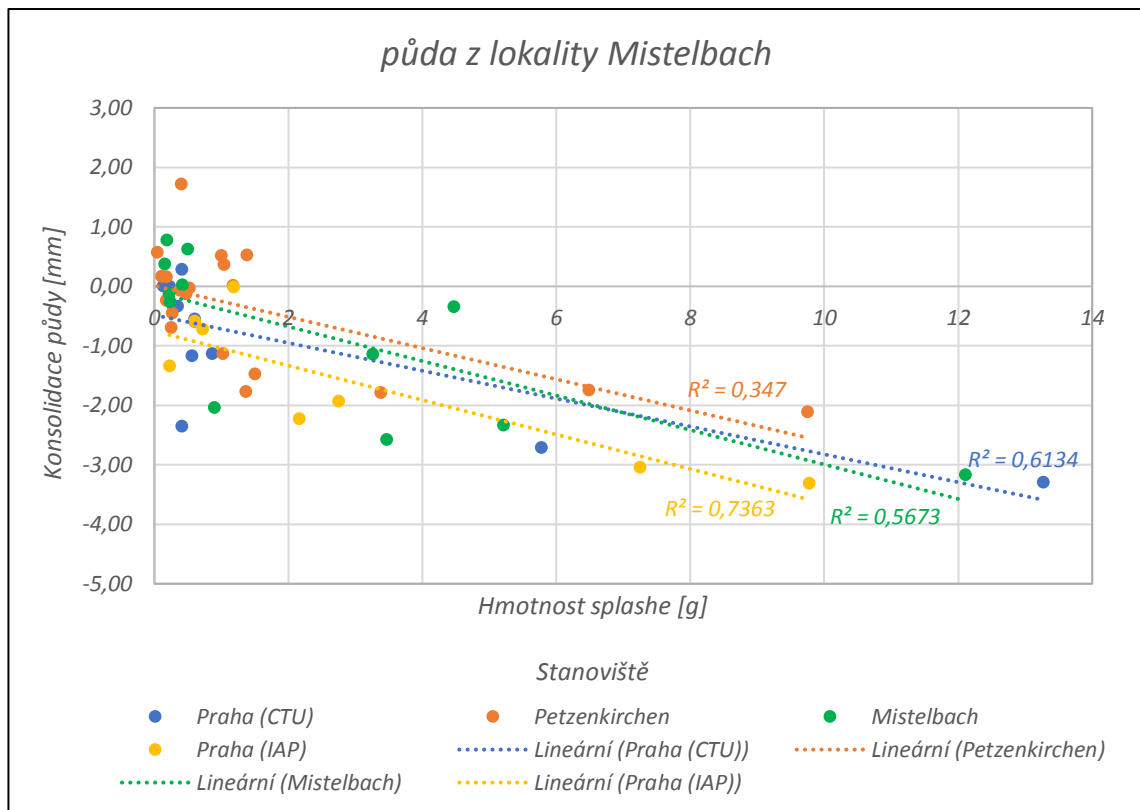
9.5 Vztah mezi konsolidací půdy a hmotností splashe



Graf 13: Vztah mezi konsolidací půdy a hmotností splashe na půdě z lokality Býkovice



Graf 14: Vztah mezi konsolidací půdy a hmotností splashe na půdě z lokality Petzenkirchen



Graf 15: Vztah mezi konsolidací půdy a hmotností splashe na půdě z lokality Mistelbach

Na grafech č. 13-15 je znázorněn vztah mezi konsolidací půdy a hmotností splashe. Na každém grafu je znázorněn vztah pro jeden druh půdy.

Pro tento vztah byla využita naměřená data z celkem 54 událostí, z toho 13 událostí ze stanoviště Praha (CTU), 21 událostí ze stanoviště Petzenkirchen, 12 událostí ze stanoviště Mistelbach a 8 událostí ze stanoviště Praha (IAP).

Jak je patrné z grafů č. 13-15, míra hodnoty konsolidace půdy nebude záviset pouze na kinetické energii srážky, ale také na množství zerodované půdy, která se uvolnila z půdního vzorku (tzv. hmotnost splashe). Vztah mezi těmito dvěma veličinami je v rámci půdních druhů velmi podobný. Se zvyšující se hmotností splashe se zvyšuje pokles povrchu půdního vzorku. Počáteční konsolidace se ovšem v rámci jednotlivých půd mění. To je způsobeno především zrnitostním složením jednotlivých půd. Kladnou konsolidaci vykazují půdy s vyšším obsahem jílových částic, tedy půdy z lokalit Petzenkirchen a Mistelbach. Další vlivy, které by mohly ovlivňovat tento vztah, budou popsány v dalších kapitolách.

Hodnoty konsolidace půdy a hmotnosti splashe se pohybují v rozmezích znázorněných v následující tabulce.

Tabulka 8: Rozmezí hodnot konsolidace půdy a hmotnosti splashe na jednotlivých půdách

Půda z lokality	Konsolidace půdy [mm]	Hmotnost splashe [g]
Býkovice	-4,45 – 0,00	0,08 – 11,61
Petzenkirchen	-2,90 – 1,85	0,04 – 10,12
Mistelbach	-3,30 – 1,70	0,04 – 13,27

9.6 Zhodnocení

Ve výše zobrazených vztazích byly popsány půdní charakteristiky, jako jsou konsolidace půdy a hmotnost splashe, a jejich průběh v rámci atmosférické srážky. Byl zde také komentován rozdíl těchto charakteristik v rámci jednotlivých půdních druhů. Jako charakteristika srážky bude v následujících kapitolách používána pouze kinetická energie, jelikož srážkový úhrn není příliš vhodný ukazatel významnosti srážky.

10 DALŠÍ VLIVY NA MORFOMETRICKÉ CHARAKTERISTIKY POVRCHU A HODNOTY SMYVU

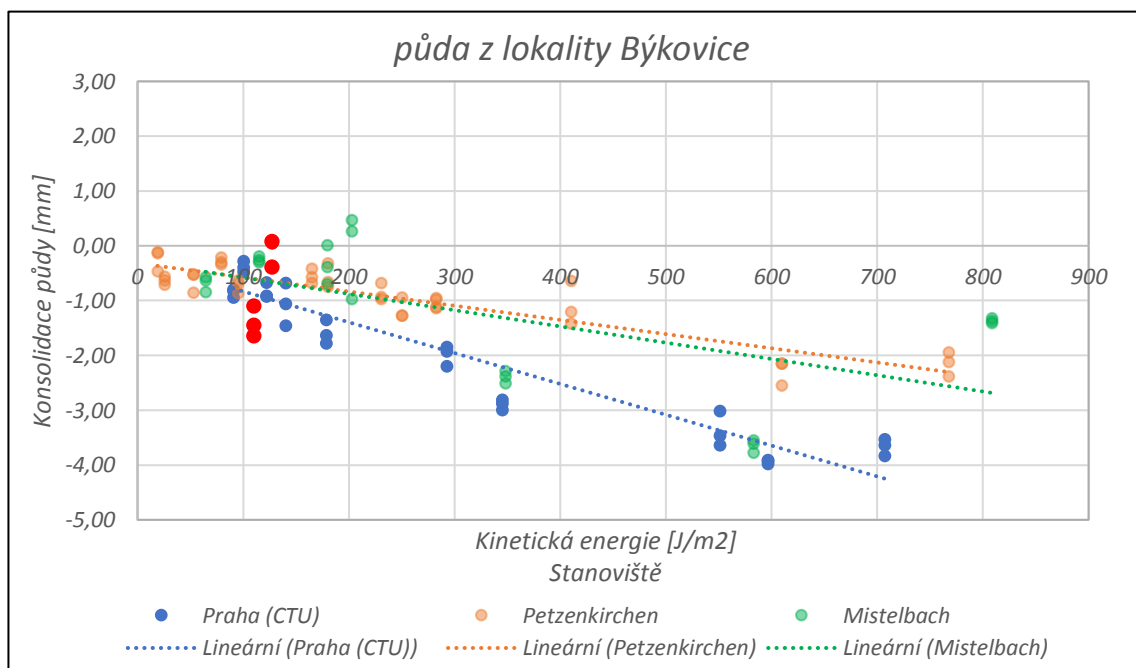
Tato kapitola se zaměřuje na nalezení dalších vlivů, které mohou ovlivňovat jednotlivé charakteristiky povrchu, konkrétně na **konsolidaci půdy** a na **hmotnost splashe**.

10.1 Další vliv na míru konsolidace půdy

I přesto, že míra konsolidace závisí především na velikosti srážky, tj. hodnotě kinetické energie srážky a půdnímu druhu, vyskytují se mezi naměřenými daty události, které vykazují velice rozdílné hodnoty konsolidace při velmi podobné hodnotě kinetické energie srážky. Konkrétně byly posuzovány rozdílné události na půdách z lokalit *Býkovice* a *Petzenkirchen*.

10.1.1 Půda z lokality Býkovice

Pro vyhodnocení dalších vlivů na konsolidaci této půdy byly použity události 20170816 a 20180425. Půdní vzorky z těchto událostí jsou v následujícím grafu vyznačeny červeně.



Graf 16: Vyznačení půdních vzorků z lokality Praha (CTU), použitých pro toto vyhodnocení

Jedná se o půdní vzorky, měřené na stanovišti *Praha (CTU)*. V následující tabulce (Tabulka 9) jsou uvedeny veškeré charakteristiky, které byly použity pro toho vyhodnocení.

Součástí vyhodnocení bylo i vizuální zhodnocení půdních vzorků z hlediska času snímkování po atmosférické srážce. Vizuální kontrolou ortofot bylo vyhodnoceno, zda jednotlivé vzorky vykazují vysokou či nízkou povrchovou vlhkost (viz *předposlední sloupec*). Vizuální kontrolou plastových sběračů na rozrušenou půdu bylo vyhodnoceno, zda se na dně sběrače nachází zbytková voda po srážce či nikoli (viz *poslední sloupec*).

Tabulka 9: Charakteristiky pro vyhodnocení dalších vlivů na konsolidaci půdy z lokality *Praha (CTU)*

ID vzorku	Výška nasypání	Drsnost povrchu před srážkou	Drsnost povrchu po srážce	Konsolidace půdy	Kinetická energie srážky	Povrch půdního vzorku	Voda ve sběrači
[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[J/m ²]	[-]	[-]
CC1_20170816	3,00	1,25	1,45	-1,65	110	SUCHÝ	NE
CC2_20170816	1,05	1,35	1,45	-1,45	110	SUCHÝ	NE
CC3_20170816	1,00	1,10	1,25	-1,10	110	SUCHÝ	NE
CC1_20180425	-1,25	2,90	2,85	-0,40	127	VLHKÝ	ANO
CC2_20180425	0,60	1,45	1,40	0,05	127	VLHKÝ	ANO
CC3_20180425	-1,80	1,65	1,55	0,05	127	VLHKÝ	ANO



Obrázek 34: Vizuální kontrola ortofota půdního vzorku CC1_20170816 po srážce (suché)

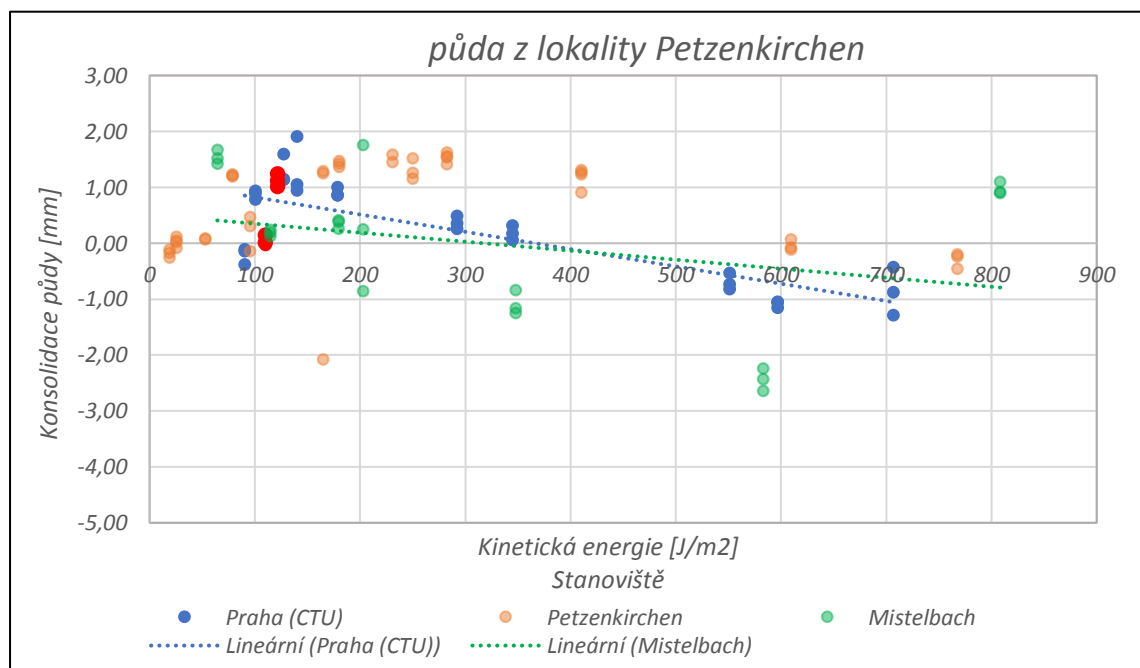


Obrázek 35: Vizuální kontrola ortofota půdního vzorku CC1_20180425 po srážce (vlhké)

Z výše uvedených dat lze usuzovat, že i když se počáteční výšky nasypání poměrně liší, tato výška nebude příliš ovlivňovat výslednou konsolidaci, neboť konsolidace je spočtena jako rozdíl výšek nasypání po a před srážkou. Drsnost povrchu se v rámci vzorků změnila jen minimálně, proto na míru konsolidace nebude mít vliv. Velký vliv ovšem bude mít doba mezi srážkou a následným snímkováním povrchu půdního vzorku. Při srážce o malé kinetické energii totiž nedochází k velkému rozrušování půdního povrchu, nýbrž jen k nasycování půdního vzorku vodou. Povrch vzorku, který je snímkován hned po srážce, obsahuje v povrchové vrstvě velké množství vody, a tudíž nevykazuje tak velkou konsolidaci jako půdní vzorek, který byl snímkován v pozdější době. Voda z povrchu půdního vzorku se stačila odpařit a půdní povrch mohl následně více sednout. Proto bude tento půdní vzorek vykazovat větší pokles než vzorek snímkaný hned po srážce.

10.1.2 Půda z lokality Petzenkirchen

Pro vyhodnocení dalších vlivů na konsolidaci této půdy byly použity události 20170816 a 20180517. Půdní vzorky z těchto událostí jsou v následujícím grafu vyznačeny červeně.



Graf 17: Vyznačení půdních vzorků z lokality Petzenkirchen, použitých pro toto vyhodnocení

Jedná se o půdní vzorky, měřené na stanovišti Praha (CTU). V následující tabulce (Tabulka 10) jsou uvedeny veškeré charakteristiky, které byly použity pro toto

vyhodnocení. Analogicky k předchozímu odstavci je součástí tabulky i vizuální zhodnocení půdních vzorků z hlediska času snímkování po atmosférické srážce.

Tabulka 10: Charakteristiky pro vyhodnocení dalších vlivů na konsolidaci půdy z lokality Petzenkirchen

ID vzorku	Výška nasypání	Drsnost povrchu před srážkou	Drsnost povrchu po srážce	Konsolidace půdy	Kinetická energie srážky	Povrch půdního vzorku	Voda ve sběrači
[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[J/m ²]	[-]	[-]
AC1_20170816	2,45	1,50	1,60	-0,05	110	SUCHÝ	NE
AC2_20170816	2,80	1,90	2,00	0,00	110	SUCHÝ	NE
AC3_20170816	1,90	1,55	1,60	0,15	110	SUCHÝ	NE
AC1_20180517	2,95	1,75	1,85	1,10	122	VLHKÝ	ANO
AC2_20180517	4,40	1,90	1,95	1,00	122	VLHKÝ	ANO
AC3_20180517	7,70	1,85	1,95	1,25	122	VLHKÝ	ANO



Obrázek 36: Vizuální kontrola ortofota půdního vzorku AC1_20170816 po srážce (suché)



Obrázek 37: Vizuální kontrola ortofota půdního vzorku AC1_20170517 po srážce (vlhké)

Stejně jako v předchozím případě, lze z uvedených dat usuzovat, že i když se počáteční výšky nasypání poměrně liší, tato výška nebude příliš ovlivňovat výslednou konsolidaci. Drsnost povrchu se v rámci této malé srážky změnila jen velmi málo, proto nebude mít vliv na konsolidaci půdy. Velký vliv opět bude mít doba mezi srážkou a následným snímkováním povrchu půdního vzorku.

10.1.3 Zhodnocení

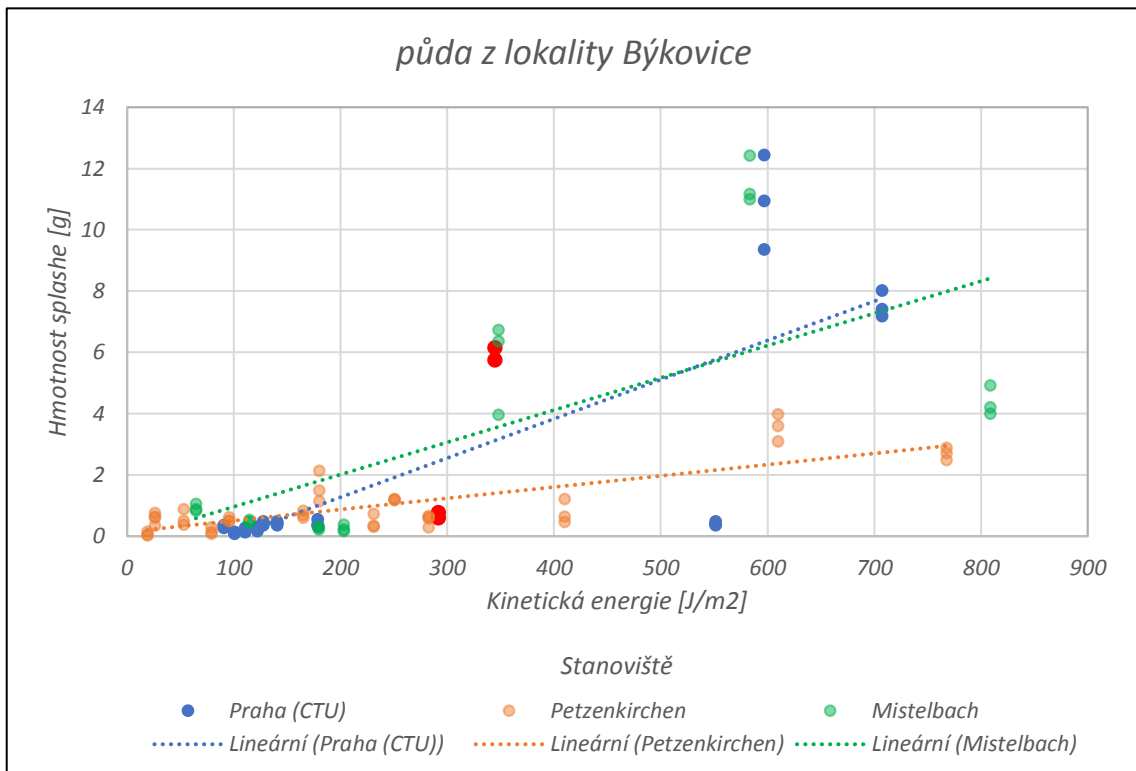
Podle vyhodnocení výše se na míře konsolidace, kromě velikosti kinetické energie srážky, podílí také časové rozmezí mezi koncem srážky a následným nasnímkováním půdního povrchu. V případě, že je půdní povrch nasnímkován ihned po srážce, vykazuje půda z lokality *Býkovice* konsolidaci výrazně nižší než, když je půdní povrch nasnímkován ve větším časovém odstupu od srážky. Půda z lokality *Petzenkirchen* vykazuje podobný průběh konsolidace. Liší se pouze výrazným bobtnáním půdy, ale to je způsobeno zrnitostním složením. Ihned po srážce půdní vzorek obsahuje velké množství vody, kvůli kterému půdní vzorek v závislosti na zrnitostním složení bobtná nebo vykazuje malý pokles. S přibývajícím časem půdní vzorek vysychá a tím dochází k většímu poklesu.

10.2 Další vliv na velikost hmotnosti splashe

I přesto, že velikost hmotnosti splashe závisí především na velikosti kinetické energie srážky, vyskytují se mezi naměřenými daty události, které vykazují velice rozdílné hmotnosti splashe při velmi podobné hodnotě kinetické energie srážky. Jelikož na hmotnost splashe nemá zásadní vliv půdní druh, bylo následné vyhodnocení provedeno na jednom půdním druhu, konkrétně na půdě z lokality *Býkovice*. Byly vyhodnoceny celkem dva případy, kde dvě události vykazovaly zcela odlišné hmotnosti splashe při podobné kinetické energii srážky.

10.2.1 Oblast střední kinetické energie srážek

Pro vyhodnocení dalších vlivů na hmotnost splashe byly použity události 20170824 a 20180807. Půdní vzorky z těchto událostí jsou v následujícím grafu vyznačeny červeně.



Graf 18: Vyznačení půdních vzorků z lokality Býkovice, použitých pro toto vyhodnocení

Jedná se o půdní vzorky, měřené na stanovišti *Praha (CTU)*. V následující tabulce jsou uvedeny veškeré charakteristiky, které byly pro toto vyhodnocení použity.

Tabulka 11: Charakteristiky pro vyhodnocení dalších vlivů na hmotnost splashe půdy z lokality Býkovice

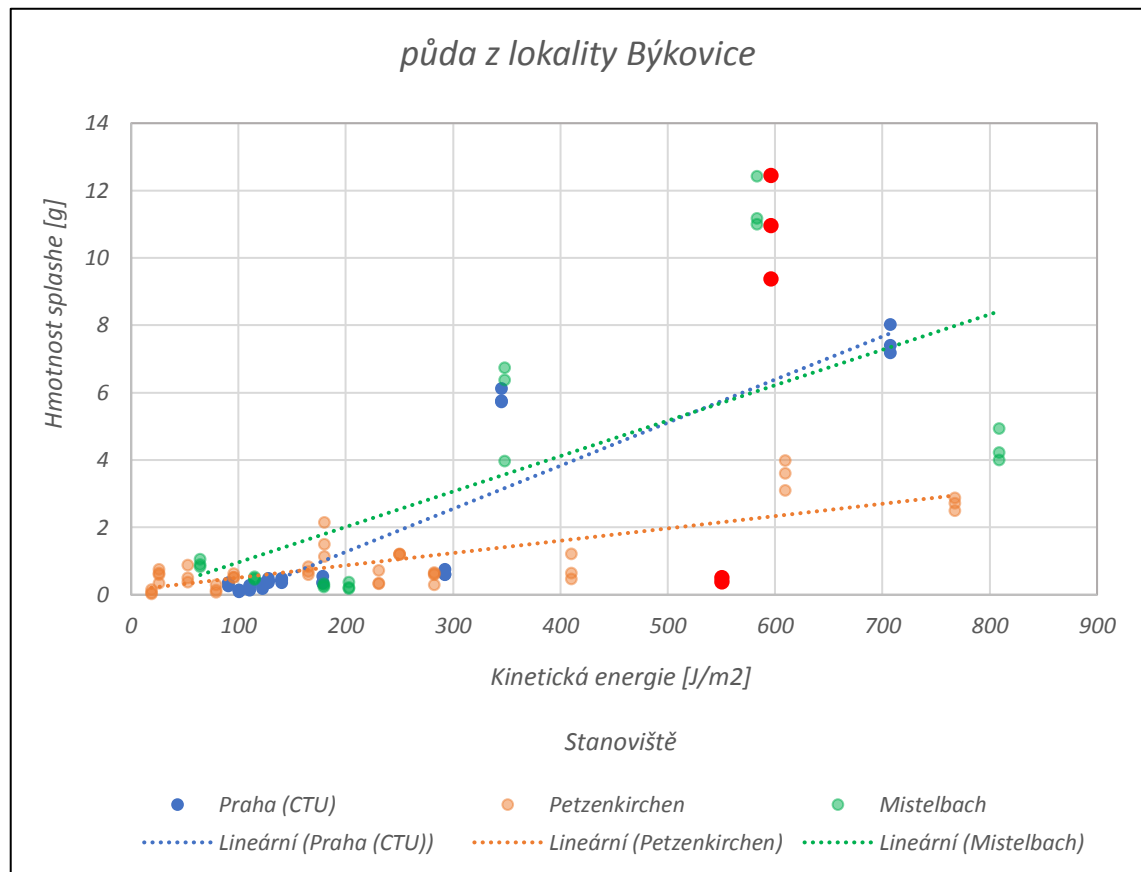
ID vzorku	Výška nasypání	Drsnost povrchu před srážkou	Drsnost povrchu po srážce	Hmotnost splashe	Kinetická energie srážky
[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[g]	[J/m ²]
CC1_20170824	-0,40	1,50	1,60	0,59	292
CC2_20170824	1,55	1,25	1,35	0,75	292
CC3_20170824	0,85	1,35	1,35	0,61	292
CC1_20180807	4,60	1,75	1,45	5,76	345
CC2_20180807	5,70	2,20	1,85	5,73	345
CC3_20180807	3,85	1,70	1,45	6,13	345

Obě tyto události byly vystaveny podobné srážce z hlediska kinetické energie. U vzorků z události 20180807 lze pozorovat, že výšky nasypání i hmotnosti splashe u těchto vzorků byly asi pětikrát vyšší než u vzorků z události 20170824. Proto lze usuzovat, že zásadní vliv na hmotnost splashe bude mít výška nasypání půdního

vzorku. Drsnost povrchu se v rámci těchto vzorků příliš nezměnila, tudíž nebude mít na hmotnost splashe vliv.

10.2.2 Oblast vysoké kinetické energie srážek

Pro vyhodnocení dalších vlivů na hmotnost splashe byly použity události 20180524 a 20180724. Půdní vzorky z těchto událostí jsou v následujícím grafu vyznačeny červeně.



Graf 19: Vyznačení půdních vzorků z lokality Býkovice, použitých pro toto vyhodnocení

Jedná se o půdní vzorky, měřené na stanovišti *Praha (CTU)*. V následující tabulce (*Tabulka 12*) jsou uvedeny veškeré charakteristiky, které byly použity pro toho vyhodnocení.

Tabulka 12: Charakteristiky pro vyhodnocení dalších vlivů na hmotnost splashe půdy z lokality Býkovice

ID vzorku	Výška nasypání	Drsnost povrchu před srážkou	Drsnost povrchu po srážce	Hmotnost splashe	Kinetická energie srážky
[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[g]	[J/m ²]
CC1_20180524	3,80	1,70	1,30	0,40	551
CC2_20180524	5,65	2,15	1,30	0,49	551
CC3_20180524	1,25	1,80	1,00	0,36	551
CC1_20180724	1,10	1,95	0,90	10,94	597
CC2_20180724	2,15	2,50	1,30	9,36	597
CC3_20180724	3,85	1,90	0,90	12,44	597

Jak je patrné z výše uvedené tabulky, u srážek, které vykazují vysokou hodnotu kinetické energie, již na výšce nasypání půdního vzorku nezáleží. Přesto, že vzorky z události 20180524 byly naplněny půdou výrazně více, vykazují přibližně dvacetkrát menší hmotnost splashe. Tento rozdíl může být způsoben například povětrnostními vlivy při dané srážce. Pokud mají dešťové kapky velkou kinetickou energii, a navíc fouká silný vítr, odletující půdní částice, které se uvolní z půdního agregátu, mohou dopadnout mimo plastový sběrač. V takovém případě se hmotnost splashe naměří pouze částečně. Toto je pouze jedno z možných vysvětlení. Pro další vyhodnocení by bylo třeba doplnit stávající data o data větru, případně o další parametry srážky.

10.2.3 Zhodnocení

Podle vyhodnocení se na hmotnosti splashe, kromě velikosti kinetické energie srážky, podílí také výška nasypání půdních vzorků. Na výšce nasypání záleží především při srážkách o středních kinetických energiích. Při velmi silných srážkách se už tato výška neprojevuje, ale záleží pravděpodobně na povětrnostních vlivech, především na rychlosti větru, který by mohl rozrušené půdní částice odnést mimo plastový sběrač. Pro další vyhodnocení by bylo třeba doplnit stávající data o data větru, případně o další parametry srážky.

11 ZMĚNA DRSNOSTI POVRCHU VLIVEM SRÁŽKY

Tato kapitola se zabývá vyhodnocením změn drsnosti půdního povrchu vlivem atmosférické srážky. Jelikož každý vzorek vykazuje jinou počáteční drsnost povrchu, bude vyhodnocení provedeno na konkrétních vzorcích s různou hodnotou kinetické energie srážek. Toto vyhodnocení bude provedeno na všech půdních druzích. Ke každému půdnímu duhu byla vytvořena tabulka s průměrnými drsnostmi půdních vzorků před a po srážce a s charakteristikami srážek.

11.1 Půda z lokality Býkovice

Tabulka 13: Vyhodnocení změny drsnosti povrchu vlivem srážky na půdě z lokality Býkovice

ID vzorku	Drsnost povrchu před srážkou	Drsnost povrchu po srážce	Srážkový úhrn	Kinetická energie srážky
[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[J/m ²]
CC1_20180517	1,80	1,85	11	122
CC2_20180517	1,80	1,80	11	122
CC3_20180517	1,55	1,65	11	122
CM1_20180723	1,40	1,35	21	348
CM2_20180723	1,65	2,60	21	348
CM3_20180723	2,10	2,15	21	348
CC1_20180724	1,95	0,90	47	597
CC2_20180724	2,50	1,30	47	597
CC3_20180724	1,90	0,85	47	597

Ve výše uvedené tabulce (*Tabulka 13*) se nachází celkem devět půdních vzorků, z toho tři vzorky jsou z jedné srážkové události. Celkově tedy byly vyhodnocovány tři srážkové události s kinetickou energií 122, 348 a 597 J/m². Při srážce o kinetické energii 122 J/m² se drsnost povrchu lehce zvyšuje nebo zůstává stejná. Vizualní kontrolou lze pozorovat, že i malé agregáty jsou pohromadě a prakticky nedošlo ke změně povrchu (viz *Obrázek 38* a *Obrázek 39*). Po srážce o kinetické energii 348 J/m² se drsnost povrchu lehce snižuje a vizuálně lze pozorovat, že většina agregátů je rozrušena (viz *Obrázek 40* a *Obrázek 41*). Po srážce o kinetické energii 597 J/m² se drsnost povrchu výrazně snížila, vizuálně lze pozorovat, většina agregátů je rozrušena, až na horní oblast vzorku, kde se nachází ještě malé nerozrušené agregáty. Toto může být způsobeno povětrnostními vlivy. (viz *Obrázek 42* a *Obrázek 43*).



Obrázek 38: Půda z lokality Býkovice před srážkou



Obrázek 39: Půda z lokality Býkovice po srážce KE 122 J/m²



Obrázek 40: Půda z lokality Býkovice před srážkou



Obrázek 41: Půda z lokality Býkovice po srážce KE 348 J/m²



Obrázek 42: Půda z lokality Býkovice před srážkou



Obrázek 43: Půda z lokality Býkovice po srážce KE 597 J/m²

11.2 Půda z lokality Petzenkirchen

Tabulka 14: Vyhodnocení změny drsnosti povrchu vlivem srážky na půdě z lokality Petzenkirchen

ID vzorku	Drsnost povrchu před srážkou	Drsnost povrchu po srážce	Srážkový úhrn	Kinetická energie srážky
[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[J/m ²]
AC1_20180517	1,75	1,85	11	122
AC2_20180517	1,90	1,95	11	122
AC3_20180517	1,85	1,95	11	122
AM1_20180723	1,85	1,80	21	348
AM2_20180723	2,05	2,10	21	348
AM3_20180723	2,00	1,70	21	348
AC1_20180724	2,35	1,15	47	597
AC2_20180724	2,75	0,95	47	597
AC3_20180724	2,15	1,10	47	597

Celkově byly vyhodnocovány opět tři srážkové události s kinetickou energií 122, 348 a 597 J/m². Při srážce o kinetické energii 122 J/m² se drsnost povrchu zvyšuje obdobně jak u půdy z lokality *Býkovice*. Vizuální kontrolou lze pozorovat, že i malé agregáty jsou pohromadě a prakticky nedošlo ke změně povrchu (viz *Obrázek 44* a *Obrázek 45*). Po srážce o kinetické energii 348 J/m² se drsnost povrchu lehce snížila. Vizuálně lze pozorovat, že většina agregátů je rozrušena (viz *Obrázek 46* a *Obrázek 47*). Po srážce o kinetické energii 597 J/m² se drsnost povrchu výrazně snížila. Vizuálně lze pozorovat, že všechny agregáty jsou zcela rozrušeny, na povrchu se nachází pouze zbytky největších a nejodolnějších půdních agregátů (viz *Obrázek 48* a *Obrázek 49*).



Obrázek 44: Půda z lokality Petzenkirchen před srážkou



Obrázek 45: Půda z lokality Petzenkirchen po srážce KE 122 J/m²



Obrázek 46: Půda z lokality Petzenkirchen před srážkou



Obrázek 47: Půda z lokality Petzenkirchen po srážce KE 348 J/m²



Obrázek 48: Půda z lokality Petzenkirchen před srážkou



Obrázek 49: Půda z lokality Petzenkirchen po srážce KE 597 J/m²

11.3 Půda z lokality Mistelbach

Tabulka 15: Vyhodnocení změny drsnosti povrchu vlivem srážky na půdě z lokality Petzenkirchen

ID vzorku	Drsnost povrchu před srážkou	Drsnost povrchu po srážce	Srážkový úhrn	Kinetická energie srážky
[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[J/m ²]
BC1_20180517	1,65	1,80	11	122
BC2_20180517	2,60	2,80	11	122
BC3_20180517	1,75	1,80	11	122
BM1_20180723	3,00	2,05	21	348
BM2_20180723	2,20	1,65	21	348
BM3_20180723	2,50	1,75	21	348
BC1_20180724	2,25	0,95	47	597
BC2_20180724	1,65	0,90	47	597
BC3_20180724	1,75	1,05	47	597

Celkově byly vyhodnocovány opět tři srážkové události s kinetickou energií 122, 348 a 597 J/m². Při srážce o kinetické energii 122 J/m² vykazuje opět půda nárůst drsnosti povrchu. Vizuální kontrolou lze pozorovat, že velmi malé agregáty jsou rozrušeny, ale povrch se zásadním způsobem nemění (viz *Obrázek 50* a *Obrázek 51*). Po srážce o kinetické energii 348 J/m² se drsnost výrazně snížila. Vizuálně lze pozorovat, že všechny agregáty jsou rozrušeny, na povrchu se nachází jen nerovnosti po těchto agregátech (viz *Obrázek 52* a *Obrázek 53*). Po srážce o kinetické energii 597 J/m² vykazují půdní vzorky nejmenší drsnost povrchu po srážce ze všech zkoumaných půd. Vizuálně lze pozorovat že všechny agregátů jsou zcela rozrušeny, na povrchu se už nenachází ani nerovnosti po půdních agregátech. (viz *Obrázek 54* a *Obrázek 55*).



Obrázek 50: Půda z lokality Mistelbach před srážkou



Obrázek 51: Půda z lokality Mistelbach po srážce KE 122 J/m²



Obrázek 52: Půda z lokality Mistelbach před srážkou



Obrázek 53: Půda z lokality Mistelbach po srážce KE 348 J/m²



Obrázek 54: Půda z lokality Mistelbach před srážkou



Obrázek 55: Půda z lokality Mistelbach po srážce KE 597 J/m²

11.4 Zhodnocení

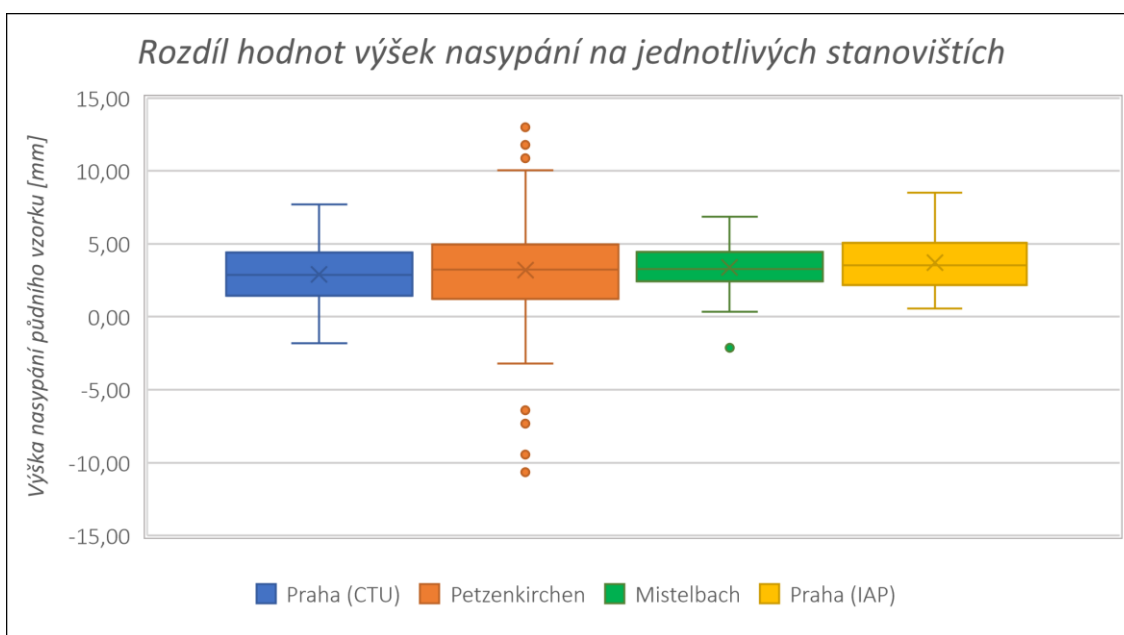
Změna drsnosti půdního povrchu závisí především na významnosti srážky, kde se zvyšující se kinetickou energií klesá drsnost půdního povrchu. Tento pokles drsnosti je také ovlivněn zrnitostním složením půdy a stabilitou agregátů. Půdy s vysokou stabilitou agregátů lépe odolávají rozrušování agregátů vlivem srážky, tudíž hodnota drsnosti povrchu se snižuje pomaleji než u půd, které vykazují stabilitu agregátů nízkou.

12 KVALITA PŘÍPRAVY PŮDNÍCH VZORKŮ

Tato kapitola je zaměřena na vyhodnocení kvality přípravy veškerých půdních vzorků na jednotlivých stanovištích. Hlavní charakteristikou pro vyhodnocení přípravy byla **výška nasypání** půdního vzorku.

Pro toto vyhodnocení byla použita data z celkem 286 půdních vzorků, z toho 80 vzorků ze stanoviště *Praha (CTU)*, 103 vzorků ze stanoviště *Petzenkirchen*, 63 vzorků ze stanoviště *Mistelbach* a 35 vzorků ze stanoviště *Praha (IAP)*.

Jelikož výška nasypání půdního vzorku ovlivňuje některé další charakteristiky, je zcela zásadní, aby rozdíly ve výšce nasypání byly co nejmenší. Následující graf ukazuje rozdíl výšek nasypání na jednotlivých stanovištích.



Graf 20: Rozpětí hodnot výšek nasypání na jednotlivých stanovištích

Výška nasypání se počítala pomocí referenčního prstence, který se nachází kolem každého vzorku. Výšková souřadnice prstence má hodnotu 0. Pokud je tedy ve vzorkovnici půda nasypána přesně v úrovni prstence, výška nasypání vykazuje hodnotu 0. Pokud je půda nasypána výše, než je umístěn referenční prstenec, vykazuje výška nasypání kladné hodnoty. Pokud je půda nasypána níže, než je umístěn referenční prstenec, vykazuje výška nasypání záporné hodnoty.

Jak je patrné z grafu č. 20, rozpětí hodnot výšek nasypání se v rámci jednotlivých měřících stanovišť velmi liší. Největší variabilitu vykazuje stanoviště *Petzenkirchen* s rozpětím hodnot -3,20 – 10,05 mm. Také obsahuje sedm extrémních hodnot, které jsou v grafu zobrazeny jako odlehlé hodnoty. Tyto hodnoty jsou větší či menší než 1,5 násobek kvartilového rozpětí souboru dat. Stanoviště *Mistelbach* vykazuje naopak nejmenší variabilitu hodnot 0,35 – 6,85 mm. Stanoviště *Praha (CTU)* a *Praha (IAP)* vykazují velice podobnou variabilitu. Stanoviště *Praha (CTU)* obsahuje pouze větší množství záporných hodnot. Průměrná výška nasypání je u všech stanovišť velice podobná. Pohybuje se v rozmezí od 2,90 do 3,70 mm.

12.1 Zhodnocení

Z vyhodnocení přípravy půdních vzorků vyplývá, že nejmenší rozdíly ve výšce nasypání byly na měřícím stanovišti *Mistelbach*. Naopak největší rozdíly ve výšce nasypání byly na měřícím stanovišti *Petzenkirchen*.

Je vhodné také uvést, že toto vyhodnocení by mohlo být ovlivněno jedním aspektem, který ale nelze zpětně zjistit. Jak již bylo zmíněno, hodnota výšky nasypání se počítá pomocí výškové souřadnice referenčního prstence. Pokud by tento prstenec nebyl dobře nainstalován na půdním vzorku (prstenec by nebyl dostatečně přitlačen k obrubě plastového sběrače), mohlo by to výrazně ovlivnit uvedené výsledky.

13 VARIABILITA MĚŘENÍ

Jak již bylo patrné v grafu č. 19, u vzorků z jednotlivých událostí existuje určitá variabilita naměřených hodnot. Pro každou událost byly vyhodnoceny tři vzorky každého půdního druhu. Právě mezi těmito vzorky lze spatřit zmiňovanou variabilitu hodnot konsolidace a hmotnosti splashe. Pro určení variability vzorků byla využita data z celkem 32 událostí, z toho 12 ze stanoviště *Praha (CTU)*, 13 ze stanoviště *Petzenkirchen* a 7 ze stanoviště *Mistelbach*. Nejprve bylo třeba vypočítat rozpětí hodnot jednotlivých trojic vzorků. Rozpětí bylo vypočteno jako rozdíl největší a nejmenší hodnoty v dané trojici vzorků. Nyní bylo možné porovnat jednotlivé hodnoty rozpětí s celkovou hodnotou rozpětí souboru. Toto porovnání bylo navíc rozděleno na čtyři varianty:

- Variabilita měření konsolidace vůči kinetické energii na jednotlivých stanovištích
- Variabilita měření konsolidace vůči kinetické energii na jednotlivých půdách
- Variabilita měření hmotnosti splashe vůči kinetické energii na jednotlivých stanovištích
- Variabilita měření hmotnosti splashe vůči kinetické energii na jednotlivých půdách

Všechny čtyři varianty byly vypočteny jako průměrné hodnoty variability, rozdělené do tří skupin podle velikosti kinetické energie, viz tabulky č. 16-19. Každá varianta také obsahuje průměrnou hodnotu variability celého souboru bez ohledu na velikost kinetické energie.

13.1 Variabilita měření konsolidace vůči kinetické energii na jednotlivých stanovištích

Tabulka 16: Variabilita měření konsolidace vůči kinetické energii na jednotlivých stanovištích

Měřící stanoviště	Variabilita měření [%]			
	Kinetická energie [J/m ²]			Ø
	0-300	301-600	601-900	
Praha (CTU)	5,17	4,02	8,42	5,15
Petzenkirchen	7,03	10,88	6,88	7,30
Mistelbach	11,78	6,58	2,91	9,03

Z tabulky č. 16 je patrné, že výsledné průměrné variability pro jednotlivá stanoviště se liší. V oblasti nízkých kinetických energií (0-300 J/m²) nejmenší variabilitu vykazuje stanoviště *Praha (CTU)* (5,17 %), zatímco stanoviště *Mistelbach* vykazuje variabilitu více než dvojnásobnou (11,78 %). Tato vysoká hodnota je pravděpodobně způsobena událostí, kde se variabilita pohybuje od 25 % do 45 %. V oblasti středních kinetických energií (301-600 J/m²) nejmenší variabilitu opět vykazuje stanoviště *Praha (CTU)* (4,02 %), zatímco stanoviště *Petzenkirchen* vykazuje téměř trojnásobnou hodnotu variability (10,88 %). To je způsobeno nedostatečným objemem dat (pouze 3 události). V oblasti vysokých kinetických energií (601 - 900 J/m²) vykazuje nejmenší variabilitu stanoviště *Mistelbach* (2,91 %), zatímco stanoviště *Praha (CTU)* vykazuje variabilitu téměř třikrát vyšší (8,42 %). Nejmenší průměrnou variabilitu, bez ohledu na kinetickou energii, vykazuje stanoviště *Praha (CTU)* (**5,15 %**), zatímco stanoviště *Mistelbach* vykazuje průměrnou variabilitu téměř dvakrát větší (**9,03 %**).

13.2 Variabilita měření konsolidace vůči kinetické energii na jednotlivých půdách

Tabulka 17: Variabilita měření konsolidace vůči kinetické energii na jednotlivých půdách

Půda z lokality	Variabilita měření [%]			
	Kinetická energie [J/m ²]			Ø
	0-300	301-600	601-900	
Býkovice	8,58	8,46	6,94	8,24
Petzenkirchen	7,59	6,84	8,17	7,52
Mistelbach	8,95	7,10	6,02	8,23

Z výše uvedené tabulky je patrné, že hodnoty průměrných variabilit pro jednotlivé půdy jsou velmi podobné. V oblasti nízkých kinetických energií (0-300 J/m²) nejmenší variabilitu vykazuje půda z lokality *Petzenkirchen* (7,59 %), zatímco půdy z lokalit *Býkovice* a *Mistelbach* vykazují variabilitu mírně vyšší (8,58 % a 8,95 %). V oblasti středních kinetických energií (301-600 J/m²) nejmenší variabilitu opět vykazuje půda z lokality *Petzenkirchen* (6,84 %), zatímco půda z lokality *Býkovice* vykazuje vyšší hodnotu variability (8,46 %). V oblasti vysokých kinetických energií (601-900 J/m²) vykazuje nejmenší variabilitu půda z lokality *Mistelbach* (6,02 %), zatímco půda z lokality *Petzenkirchen* vykazuje nejvyšší variabilitu z této oblasti

(8,17 %). V rámci celkových průměrů, bez přihlídnutí na kinetickou energii, je patrné, že jednotlivé variability jsou si velice podobné. Menší variabilitu vykazuje pouze půda z lokality *Petzenkirchen* (**7,52 %**).

13.3 Variabilita měření hmotnosti splashe vůči kinetické energii na jednotlivých stanovištích

Tabulka 18: Variabilita měření hmotnosti splashe vůči kinetické energii na jednotlivých stanovištích

Měřící stanoviště	Variabilita měření [%]			
	Kinetická energie [J/m ²]			Ø
	0-300	301-600	601-900	
Praha (CTU)	0,98	9,78	7,89	3,76
Petzenkirchen	8,43	10,03	15,50	9,68
Mistelbach	1,27	12,71	5,82	5,19

Z výše uvedené tabulky je patrné, že výsledné průměrné variability pro jednotlivá stanoviště se liší. V oblasti nízkých kinetických energií (0-300 J/m²) nejmenší variabilitu vykazuje stanoviště *Praha (CTU)* (0,98 %), zatímco stanoviště *Petzenkirchen* vykazuje variabilitu více než osminásobnou (8,43 %). V oblasti středních kinetických energií (301-600 J/m²) nejmenší variabilitu opět vykazuje stanoviště *Praha (CTU)* (9,78 %), zatímco stanoviště *Mistelbach* vykazuje hodnotu variability (12,71 %). V oblasti vysokých kinetických energií (601-900 J/m²) vykazuje nejmenší variabilitu stanoviště *Mistelbach* (5,82 %), zatímco stanoviště *Petzenkirchen* vykazuje variabilitu téměř třikrát vyšší (15,50 %). Nejmenší průměrnou variabilitu bez ohledu na kinetickou energii vykazuje stanoviště *Praha (CTU)* (**3,76 %**), zatímco stanoviště *Petzenkirchen* vykazuje průměrnou variabilitu téměř třikrát větší (**9,68 %**).

13.4 Variabilita měření hmotnosti splashe vůči kinetické energii na jednotlivých půdách

Tabulka 19: Variabilita měření hmotnosti splashe vůči kinetické energii na jednotlivých půdách

Půda z lokality	Variabilita měření [%]			
	Kinetická energie [J/m ²]			Ø
	0-300	301-600	601-900	
Býkovice	1,85	8,78	6,16	4,20
Petzenkirchen	1,18	12,90	7,81	4,31
Mistelbach	2,23	6,82	4,54	3,38

Z výše uvedené tabulky je patrné, že hodnoty průměrných variabilit pro jednotlivé půdy jsou velmi podobné v celkových průměrech bez ohledu na kinetickou energii. Zatímco průměrné variability v jednotlivých oblastech se liší. V oblasti nízkých kinetických energií (0-300 J/m²) nejmenší variabilitu vykazuje půda z lokality *Petzenkirchen* (1,18 %), zatímco půda z lokality *Mistelbach* vykazuje variabilitu téměř dvojnásobnou (2,23 %). V oblasti středních kinetických energií (301-600 J/m²) nejmenší variabilitu vykazuje půda z lokality *Mistelbach* (6,82 %), zatímco půda z lokality *Petzenkirchen* vykazuje hodnotu variability téměř dvojnásobnou (12,90 %). V oblasti vysokých kinetických energií (601-900 J/m²) vykazuje nejmenší variabilitu půda z lokality *Mistelbach* (4,54 %), zatímco půda z lokality *Petzenkirchen* vykazuje nejvyšší variabilitu z této oblasti (7,81 %). V rámci celkových průměrů bez přihlídnutí na kinetickou energii je patrné, že jednotlivé variability jsou si velice podobné, trochu menší hodnotu variability vykazuje půda z lokality *Mistelbach* (**3,38 %**).

13.5 Zhodnocení

Z těchto výše popsaných průměrných variabilit je patrné, že variabilita vzorků nebude záviset na typu půdy, jelikož průměrné variability konsolidace i hmotnosti splashe na jednotlivých půdách byly velmi podobné a lišily se o méně než jedno procento. Na jednotlivých stanovištích se průměrné hodnoty variabilit liší výrazně více. To je způsobeno pravděpodobně rozdílnou přípravou půdních vzorků na jednotlivých stanovištích. Stanoviště *Praha (CTU)* vykazuje v oblasti konsolidace (**5,15 %**) i hmotnosti splashe (**3,76 %**) nejnížší variabilitu ze všech tří stanovišť. Lze

tedy říci, že na stanovišti *Praha (CTU)* se půdní vzorky připravovaly s větší kvalitou než u zbylých dvou stanovišť.

14 SPOLEHLIVOST VZTAHŮ

Tato kapitola se zabývá spolehlivostí vztahů, které byly popsány výše. Spolehlivost byla vyjádřena pomocí tzv. **hodnoty spolehlivosti R^2** , která ukazuje, do jaké míry lze konkrétnímu vztahu věřit. Čím více se tato hodnota blíží hodnotě 1, tím je vztah spolehlivější.

Hodnocení spolehlivosti proběhlo u těchto vztahů:

- Konsolidace versus kinetická energie srážky
- Hmotnost splashe versus kinetická energie srážky
- Konsolidace versus hmotnost splashe

Spolehlivost se zjišťovala na každém půdním druhu ze dvou pohledů:

- Na každém měřícím stanovišti
- Bez ohledu na měřící stanoviště

14.1 Hodnocení spolehlivosti na každém měřícím stanovišti

K hodnocení spolehlivosti byly použity hodnoty spolehlivosti z grafů č. 1-15, z kapitoly č. 9. Tyto hodnoty jsou zobrazeny v následující tabulce (*Tabulka 20*).

Tabulka 20: Hodnoty spolehlivosti vztahů na jednotlivých půdách a měřících stanovištích

Půda z lokality	Měřící stanoviště	Hodnoty spolehlivosti R^2 [-]		
		Vztah		
		Konsolidace vs. kinetická energie srážky	Hmotnost splashe vs. kinetická energie	Konsolidace vs. hmotnost splashe
Býkovice	Praha (CTU)	0,88	0,58	0,62
Býkovice	Petzenkirchen	0,90	0,69	0,61
Býkovice	Mistelbach	0,38	0,47	0,83
Býkovice	Praha (IAP)	-	-	0,86
Petzenkirchen	Praha (CTU)	0,64	0,48	0,39
Petzenkirchen	Petzenkirchen	0,01	0,49	0,26
Petzenkirchen	Mistelbach	0,11	0,34	0,59
Petzenkirchen	Praha (IAP)	-	-	0,84
Mistelbach	Praha (CTU)	0,89	0,48	0,61
Mistelbach	Petzenkirchen	0,27	0,40	0,35
Mistelbach	Mistelbach	0,25	0,48	0,57
Mistelbach	Praha (IAP)	-	-	0,74

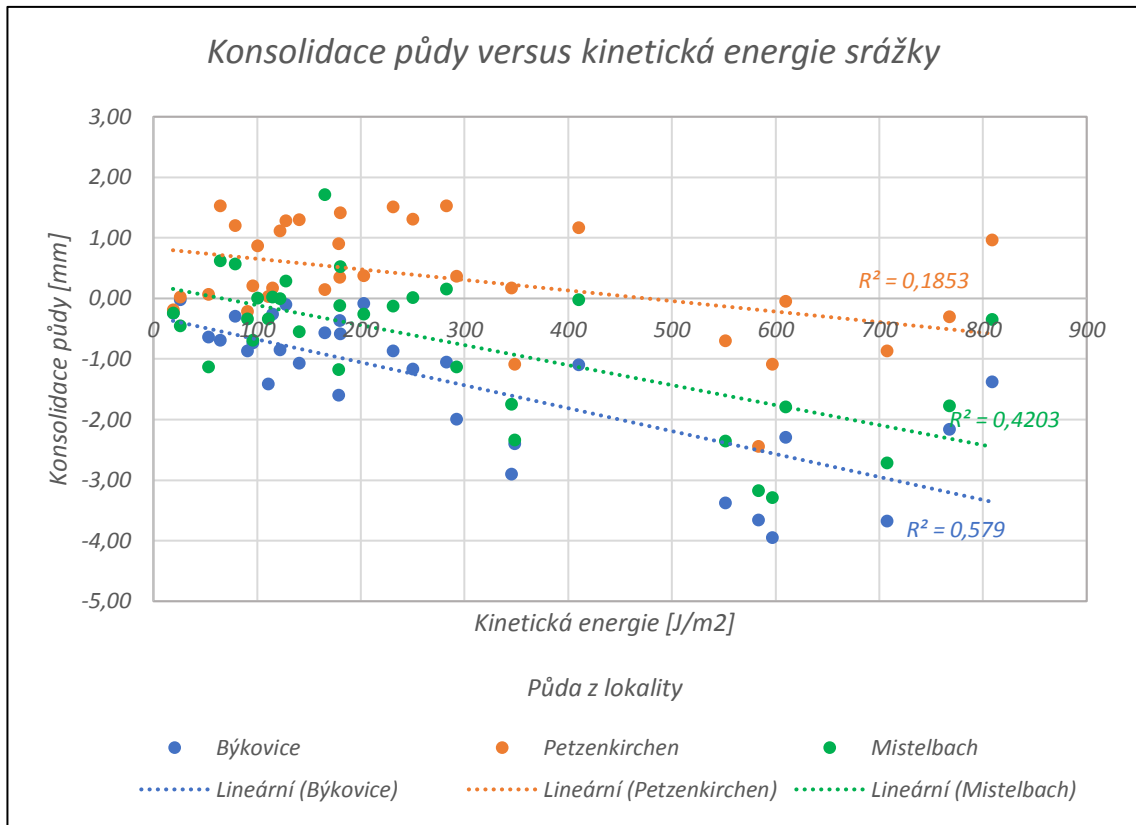
V rámci vztahu mezi konsolidací půdy a kinetickou energií srážky lze pozorovat, že nejlepších hodnot spolehlivosti dosahují půdy, které byly hodnoceny na stanovišti *Praha (CTU)*. Především to jsou půdy z lokalit *Býkovice* a *Mistelbach*. Menší hodnotu spolehlivosti vykazuje půda z lokality *Petzenkirchen*, ale v porovnání s ostatními měřícími stanovišti vykazuje pořád dobrou hodnotu spolehlivosti (0,64). Na stanovišti *Petzenkirchen* kromě půdy z lokality *Býkovice* (0,90) vykazují půdy velice malé hodnoty spolehlivosti. Podobný trend vykazuje stanoviště *Mistelbach*, které vykazuje největší hodnotu spolehlivosti pouhých 0,38.

V rámci vztahu mezi hmotností splashe a kinetickou energií srážky lze pozorovat, že všechny zobrazené hodnoty spolehlivosti jsou si velmi podobné. Mírně vyšší hodnoty spolehlivosti vykazuje stanoviště *Praha (CTU)*.

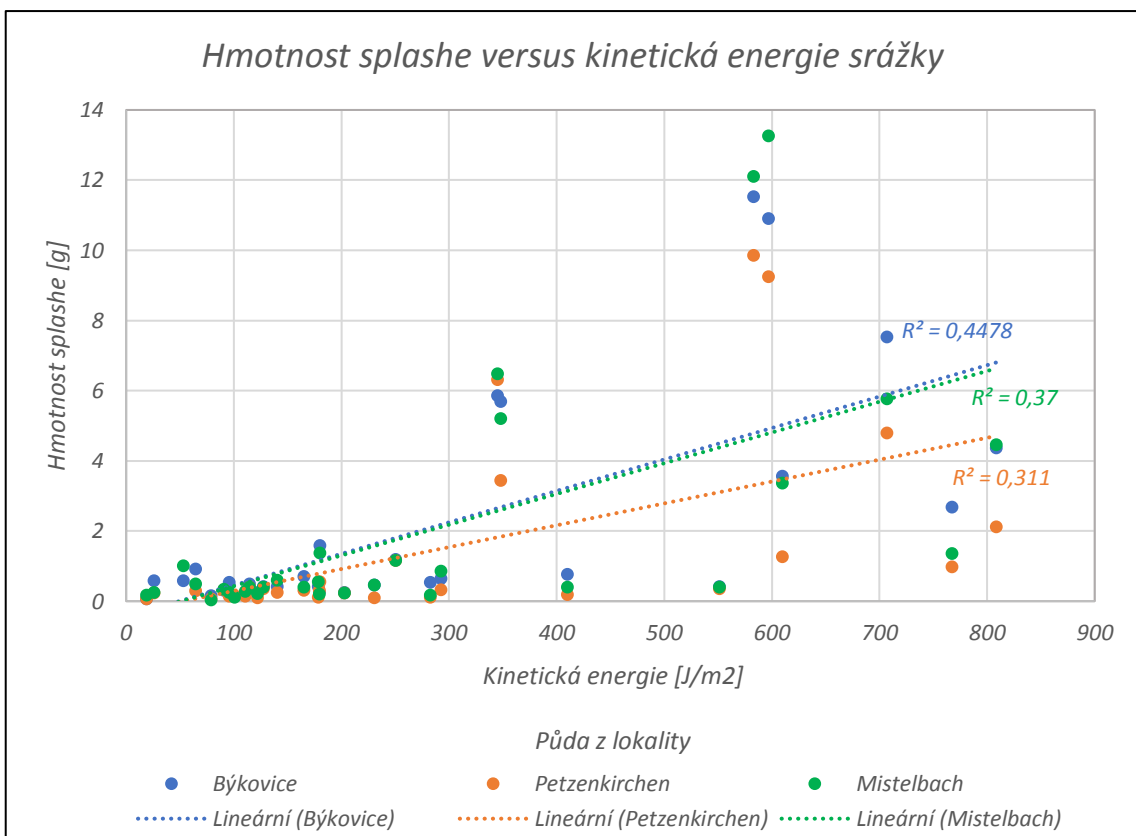
V rámci vztahu mezi konsolidací půdy a hmotností splashe lze pozorovat, že nejlepší hodnoty spolehlivosti dosahují půdy měřené na stanovišti *Praha (IAP)*. To může být způsobeno tím, že na stanovišti bylo zpracováno nejméně půdních vzorků ze všech měřících stanovišť, tudíž nevykazují tak velkou variabilitu výsledků.

14.2 Hodnocení spolehlivosti bez ohledu na měřící stanoviště

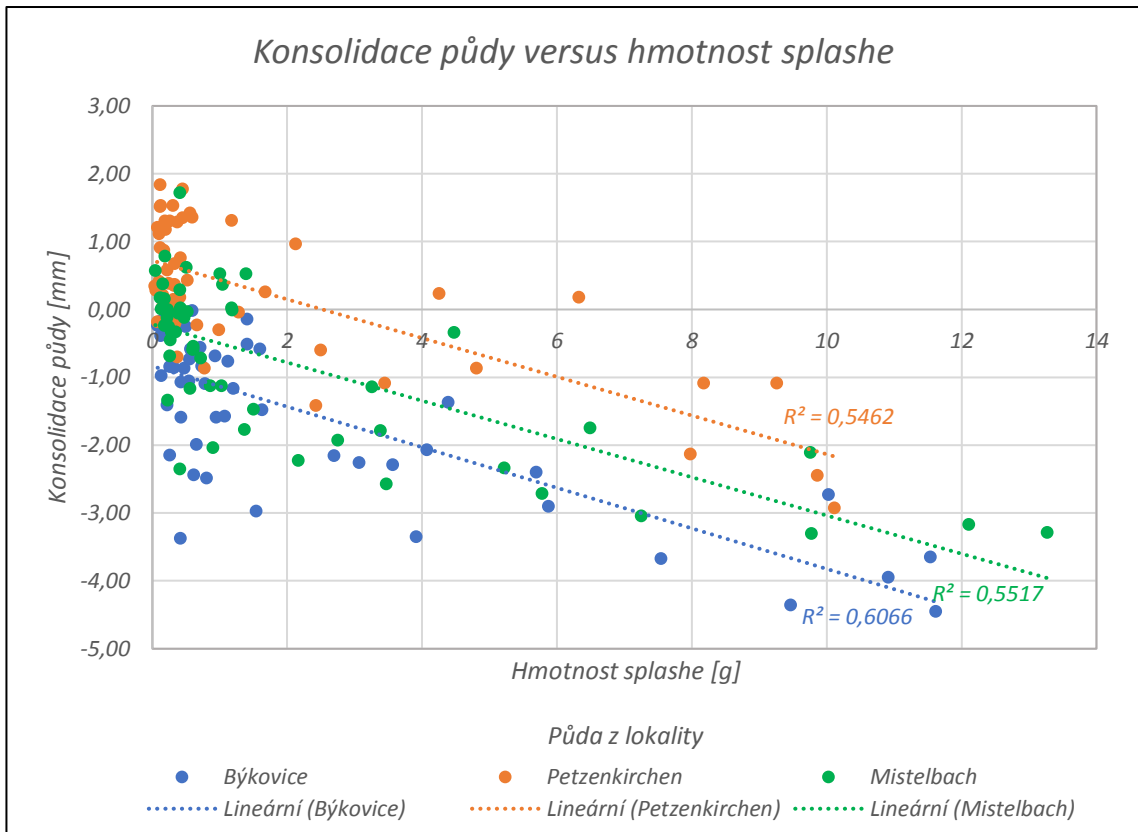
K hodnocení spolehlivosti byly použity *hodnoty spolehlivosti* z grafů č. 21-23, které byly vytvořeny jako vztahy na jednotlivých půdách bez rozlišení měřících stanovišť. Tyto hodnoty jsou zobrazeny v tabulce níže (*Tabulka 21*).



Graf 21: Vztah mezi konsolidací a kinetickou energií na jednotlivých půdách



Graf 22: Vztah mezi hmotností splashe a kinetickou energií na jednotlivých půdách



Graf 23: Vztah mezi konsolidací a hmotnostmi splashe na jednotlivých půdách

Tabulka 21: Hodnoty spolehlivosti vztahů na jednotlivých půdách

Půda z lokality	Hodnoty spolehlivosti R^2 [-]		
	Vztah		
	Konsolidace vs. kinetická energie srážky	Hmotnost splashe vs. kinetická energie	Konsolidace vs. hmotnost splashe
Býkovice	0,58	0,45	0,61
Petzenkirchen	0,19	0,31	0,55
Mistelbach	0,42	0,37	0,55

V rámci vztahu mezi konsolidací půdy a kinetickou energií srážky lze pozorovat, že nejlepší hodnoty spolehlivosti dosahuje půda z lokality *Býkovice* (0,58), zatímco půda z lokality *Petzenkirchen* vykazuje hodnotu spolehlivosti nejhorší (0,19).

V rámci vztahu mezi hmotností splashe a kinetickou energií srážky lze pozorovat, že všechny půdy dosahují velmi podobných, ale nízkých hodnot spolehlivosti.

V rámci vztahu mezi konsolidací půdy a hmotností splashe lze pozorovat, že všechny půdy dosahují prakticky totožné hodnoty spolehlivosti.

14.3 Zhodnocení

Jelikož hodnotu spolehlivosti uvedených vztahů budou výrazně ovlivňovat další okolnosti jako např. rozdílná výška nasypání půdních vzorků nebo doba mezi srážkou a následným snímkováním půdních vzorků, je vhodnější využít hodnoty spolehlivosti z *tabulky* č. 20. Tyto hodnoty spolehlivosti jsou zde rozděleny na jednotlivé půdy a měřící stanoviště. Právě na měřících stanovištích dochází k nerovnoměrné přípravě půdních vzorků a tím se snižuje i následná hodnota spolehlivosti.

Pro výrazné zvýšení hodnot spolehlivosti by se musely všechny půdní vzorky vyhodnotit jako v *kapitole* č. 10 a následně nevyhovující vzorky vyřadit z těchto vztahů. Toto by bylo ovšem časově velice náročné, neboť by se jednalo o více než 500 půdních vzorků.

15 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo za pomoci pozemní fotogrammetrie vyhodnotit změny morfometrických charakteristik povrchu půdy vlivem atmosférických srážek a následně popsat vztahy mezi půdními charakteristikami a charakteristikami srážek. Tento experiment probíhal na čtyřech měřících stanovištích v Rakousku a České republice v rámci projektu GF17-33751L „*Vliv kinetické energie deště na uvolňování a transport půdních částic*“. Zjišťovaly se půdní charakteristiky na třech půdách ze tří lokalit v Rakousku a v České republice.

Celkově bylo zpracováno 531 půdních vzorků, z toho asi 5 % vzorků nebylo využito z důvodu špatné kvality vygenerovaných modelů. Pro použité vygenerované modely povrchu a ortofota se podařilo dosáhnout velice dobré kvality (viz kapitola 8.1.13). Kvalita modelů, které nebyly použity, byla ovlivněna především menším počtem snímků, podle kterých se zpracovává následný model, nekvalitními (neostrými) snímky nebo nevhodnými světelnými podmínkami, za kterých byly snímky pořizovány.

Dále byly vyhodnocovány charakteristiky, které byly vypočteny z modelů povrchu a laboratorním měřením. Jednalo se především o konsolidaci půdy, hmotnost splashe, drsnost povrchu a výšku nasypání půdního vzorku.

První charakteristikou, která se vyhodnocovala, byla konsolidace půdy. Pomocí vyobrazených grafů bylo zjištěno, že tato charakteristika závisí na významnosti srážky, tj. velikosti kinetické energie srážky, množství erodované půdy, tj. *hmotnosti splashe* a na zrnitostním složení půdy. Tyto závislosti platí především u všech půd, které byly měřeny na stanovišti *Praha (CTU)*, které vykazuje nejlepší hodnoty spolehlivosti ze všech měřících stanovišť. Ostatní stanoviště vykazují hodnoty spolehlivosti podstatně nižší, tudíž některé trendy nejsou prokazatelné (viz kapitola 9). Mezi určitými půdními vzorky se vyskytovaly velice odlišné hodnoty konsolidace při podobné srážkové události. Pomocí dalšího vyhodnocení se ukázalo, že dalším velice významným vlivem na konsolidaci půdy je časové rozmezí mezi koncem srážky a následným nasnímkováním půdního povrchu (viz kapitola 10.1).

Jako druhá se vyhodnocovala velikost smyvu tzv. hmotnost splashe. Pomocí grafů bylo zjištěno, že tato hmotnost nezávisí pouze na velikosti kinetické energie srážky (viz kapitola 9). Tuto skutečnost také ukazují hodnoty spolehlivosti, které se v rámci jednotlivých půd a měřících stanovišť pohybovaly kolem 0,4 a lišily se pouze minimálně (viz kapitola 14). Stejně jako u konsolidace, i u hmotnosti splashe se mezi určitými půdními vzorky vyskytovaly velice odlišné hodnoty při podobné srážkové události. Pomocí dalšího vyhodnocení se ukázalo, že dalším významným vlivem na hmotnost splashe je tzv. výška nasypání půdních vzorků, která ovlivňuje výsledky hmotnosti především při srážkách o větších kinetických energiích. Další vliv na hmotnost splashe mohou mít pravděpodobně také povětrnostní vlivy jako je rychlost větru, který by mohl rozrušené půdní částice odnést mimo plastový sběrač. Pro další vyhodnocení by bylo třeba doplnit stávající data o údaje o větru, případně o další parametry srážky (viz kapitola 10.2).

Jako další charakteristika půdního povrchu byla vyhodnocována jeho drsnost. Jelikož počáteční drsnost půdního povrchu byla ovlivněna přípravou vzorků, byla tato charakteristika vyhodnocena na konkrétních srážkových událostech. Bylo zjištěno, že se zvyšující se hodnotou kinetické energie srážky se drsnost snižuje. Na rychlost snižování drsnosti má vliv, kromě kinetické energie, také zrnitostní složení půd, a především jejich agregátová stabilita. Nejrychlejší pokles drsnosti povrchu vykazovala půda z lokality *Mistelbach*, která má agregátovou stabilitu pouhých 16,3 %, což vede při větších srážkách ke krustaci půdy (viz kapitola 11).

Dále byla vyhodnocována kvalita přípravy půdních vzorků pomocí výšky nasypání. Podle této charakteristiky se ukázalo, že nejmenší rozpětí těchto výšek vykazuje měřící stanoviště *Mistelbach*. Výška nasypání může být ovlivněna nesprávným umístěním referenčního prstence k obrubě plastového sběrače, ze kterého je odvozována „Z“ souřadnice, která je použita pro výpočet výšky nasypání (viz kapitola 12). Tento vliv ale nelze zpětně zjistit, proto toto vyhodnocení autor nepovažuje za prokazatelné.

Jako další byla vyhodnocena variabilita naměřených charakteristik na půdních vzorcích ze stejné srážkové události. Bylo zjištěno, že variabilita na jednotlivých půdách je velice podobná, zatímco variabilita na měřících stanovištích se lišila. Nejmenší variabilitu, z hlediska konsolidace i hmotnosti splashe, vykazovalo měřící stanoviště *Praha (CTU)* s hodnotami 5,15 % a 3,76 %. Rozdíl variabilit na měřících stanovištích je způsoben kvalitou přípravy půdních vzorků. Proto na stanovišti

Praha (CTU) se půdní vzorky připravovaly s vyšší kvalitou než u zbylých dvou stanovišť (viz kapitola 13).

Jako poslední byla vyhodnocena spolehlivost vztahů mezi morfometrickými charakteristikami povrchu a charakteristikami srážek. Jelikož spolehlivost je ovlivněna kvalitou zpracování půdních vzorků, je třeba spolehlivosti posuzovat na půdách na konkrétních stanovištích. Z hlediska konsolidace vykazuje nejlepší hodnoty spolehlivosti stanoviště *Praha (CTU)*. Z hlediska hmotnosti splashe vykazují všechna stanoviště hodnoty spolehlivosti velmi podobné, protože hmotnost splashe nezávisí pouze na velikosti kinetické energie, ale i na ostatních aspektech. Pro výrazné zvýšení hodnot spolehlivosti by bylo třeba všechny půdní vzorky vyhodnotit individuálně a následně nevyhovující vzorky vyřadit z těchto vztahů (viz kapitola 14).

Při zpracování této bakalářské práce byla největší komplikací z autorova pohledu časová náročnost zpracování dat v softwaru *Agisoft PhotoScan* a velký rozdíl kvality přípravy a zpracování půdních vzorků, které značně zkomplikovalo následné vyhodnocení.

16 SEZNAMY

16.1 Seznam použitých zkratek

pH	potential of Hydrogen (vodíkový exponent)
HPV	Hladina Podzemní Vody
DSM	Digital Surface Model (digitální model povrchu)
DEM	Digital Elevation Model (digitální model terénu)
UAV	Unmanned Aerial Vehicle (bezpilotní letadlo)
GIS	Geographic Information System (geografický informační systém)
CTU	Czech Technical University in Prague (České vysoké učení technické v Praze)
IAP	Institute of Atmospheric Physics CAS (Ústav fyziky atmosféry AV ČR)
TOC	Total Organic Carbon (celkový organický uhlík)
VB	Vlícovací Body
KE	Kinetická Energie srážky

16.2 Seznam obrázků

Obrázek 1: Mapa jednotlivých měřících stanovišť	22
Obrázek 2: Modifikovaný "Morgan splash cup" a sběrač dešťové vody s oddělenou půdou	23
Obrázek 3: Mapa měřících stanovišť v Praze.....	24
Obrázek 4: Podhled na splash cupy	25
Obrázek 5: Disdrometr Thies Clima.....	25
Obrázek 6: Srážkoměr	25
Obrázek 7: Pohled na splash cupy	25
Obrázek 8: Videodisdrometr	25
Obrázek 9: Pohled na splash cupy	26
Obrázek 10: Disdrometr Parsivel M300	26
Obrázek 11: Pohled na měřící stanoviště Mistelbach	26
Obrázek 12: Disdrometr Campbell PWS100	26
Obrázek 13: Mapa lokalit odběru půd	27
Obrázek 14: Kalíšek s referenčním prstencem.....	31
Obrázek 15: Sběrač s nádobou na sběr vody s rozrušenou půdou	31
Obrázek 16: Snímek pořízený shora	32
Obrázek 17: Snímek pořízený z boku	32
Obrázek 18: Schéma pořízení snímků (modré obdélníky znázorňují jednotlivou polohu snímků).....	32
Obrázek 19: Fotoaparát Sony ILCE 6000	32
Obrázek 20: Filtrační papír s obsahem půdních částic	33
Obrázek 21: Dialogové okno pro vytvoření řídkého mračna bodů.....	35
Obrázek 22: Dialogové okno pro automatickou detekci VB	36
Obrázek 23: Výpis souřadnic bodů z referenčního prstence.....	37
Obrázek 24: Dialogové okno pro vytvoření hustého mračna bodů	38
Obrázek 25: Dialogové okno pro vytvoření sítě	39
Obrázek 26: Dialogové okno pro vytvoření textury	41
Obrázek 27: Dialogové okno pro vytvoření ortofota	43
Obrázek 28: Vyexportovaný digitální model terénu (vizualizováno v programu ArcMap)	43
Obrázek 29: Vyexportované digitální ortofoto.....	43
Obrázek 30: Dialogové okno Batch procesu	44

Obrázek 31: Dialogové okno skriptu „Process splash sample DEMs“	46
Obrázek 32: oříznutý digitální model terénu (vizualizováno v programu ArcMap) .	47
Obrázek 33: Dialogové okno nástroje Table To Excel	47
Obrázek 34: Vizuální kontrola ortofota půdního vzorku CC1 __20170816 po srážce (suché).....	63
Obrázek 35: Vizuální kontrola ortofota půdního vzorku CC1 __20180425 po srážce (vlhké).....	63
Obrázek 36: Vizuální kontrola ortofota půdního vzorku AC1 __20170816 po srážce (suché).....	65
Obrázek 37: Vizuální kontrola ortofota půdního vzorku AC1 __20170517 po srážce (vlhké).....	65
Obrázek 38: Půda z lokality Býkovice před srážkou	71
Obrázek 39: Půda z lokality Býkovice po srážce KE 122 J/m ²	71
Obrázek 40: Půda z lokality Býkovice před srážkou	71
Obrázek 41: Půda z lokality Býkovice po srážce KE 348 J/m ²	71
Obrázek 42: Půda z lokality Býkovice před srážkou	71
Obrázek 43: Půda z lokality Býkovice po srážce KE 597 J/m ²	71
Obrázek 44: Půda z lokality Petzenkirchen před srážkou.....	73
Obrázek 45: Půda z lokality Petzenkirchen po srážce KE 122 J/m ²	73
Obrázek 46: Půda z lokality Petzenkirchen před srážkou.....	73
Obrázek 47: Půda z lokality Petzenkirchen po srážce KE 348 J/m ²	73
Obrázek 48: Půda z lokality Petzenkirchen před srážkou.....	73
Obrázek 49: Půda z lokality Petzenkirchen po srážce KE 597 J/m ²	73
Obrázek 50: Půda z lokality Mistelbach před srážkou.....	75
Obrázek 51: Půda z lokality Mistelbach po srážce KE 122 J/m ²	75
Obrázek 52: Půda z lokality Mistelbach před srážkou.....	75
Obrázek 53: Půda z lokality Mistelbach po srážce KE 348 J/m ²	75
Obrázek 54: Půda z lokality Mistelbach před srážkou.....	75
Obrázek 55: Půda z lokality Mistelbach po srážce KE 597 J/m ²	75

16.3 Seznam tabulek

Tabulka 1: Příklady softwarů pro fotogrammetrické zpracování dat	20
Tabulka 2: Zrnitostní složení měřených půd	28
Tabulka 3: Ostatní charakteristiky měřených půd	29
Tabulka 4: Rozmezí hodnot konsolidace a kinetické energie na jednotlivých půdách	51
Tabulka 5: Rozmezí hodnot konsolidace a srážkového úhrnu na jednotlivých půdách	53
Tabulka 6: Rozmezí hodnot hmotnosti splashe a kinetické energie na jednotlivých půdách	56
Tabulka 7: Rozmezí hodnot hmotnosti splashe a srážkového úhrnu na jednotlivých půdách	58
Tabulka 8: Rozmezí hodnot konsolidace půdy a hmotnosti splashe na jednotlivých půdách	61
Tabulka 9: Charakteristiky pro vyhodnocení dalších vlivů na konsolidaci půdy z lokality Praha (CTU).....	63
Tabulka 10: Charakteristiky pro vyhodnocení dalších vlivů na konsolidaci půdy z lokality Petzenkirchen	65
Tabulka 11: Charakteristiky pro vyhodnocení dalších vlivů na hmotnost splashe půdy z lokality Býkovice	67
Tabulka 12: Charakteristiky pro vyhodnocení dalších vlivů na hmotnost splashe půdy z lokality Býkovice	69
Tabulka 13: Vyhodnocení změny drsnosti povrchu vlivem srážky na půdě z lokality Býkovice	70
Tabulka 14: Vyhodnocení změny drsnosti povrchu vlivem srážky na půdě z lokality Petzenkirchen	72
Tabulka 15: Vyhodnocení změny drsnosti povrchu vlivem srážky na půdě z lokality Petzenkirchen	74
Tabulka 16: Variabilita měření konsolidace vůči kinetické energii na jednotlivých stanovištích.....	79
Tabulka 17: Variabilita měření konsolidace vůči kinetické energii na jednotlivých půdách	80
Tabulka 18: Variabilita měření hmotnosti splashe vůči kinetické energii na jednotlivých stanovištích	81

Tabulka 19: Variabilita měření hmotnosti splashe vůči kinetické energii na jednotlivých půdách	82
Tabulka 20: Hodnoty spolehlivosti vztahů na jednotlivých půdách a měřících stanovištích.....	84
Tabulka 21: Hodnoty spolehlivosti vztahů na jednotlivých půdách	87

16.4 Seznam grafů

Graf 1: Vztah mezi konsolidací půdy a kinetickou energií srážky na půdě z lokality Býkovice	49
Graf 2: Vztah mezi konsolidací půdy a kinetickou energií srážky na půdě z lokality Petzenkirchen	49
Graf 3: Vztah konsolidací půdy a kinetickou energií srážky na půdě z lokality Mistelbach	50
Graf 4: Vztah mezi konsolidací půdy a srážkovým úhrnem na půdě z lokality Býkovice	51
Graf 5: Vztah mezi konsolidací půdy a srážkovým úhrnem na půdě z lokality Petzenkirchen	52
Graf 6: Vztah mezi konsolidací půdy a srážkovým úhrnem na půdě z lokality Mistelbach	52
Graf 7: Vztah mezi hmotností splashe a kinetickou energií srážky na půdě z lokality Býkovice	54
Graf 8: Vztah mezi hmotností splashe a kinetickou energií srážky na půdě z lokality Petzenkirchen	54
Graf 9: Vztah mezi hmotností splashe a kinetickou energií srážky na půdě z lokality Mistelbach	55
Graf 10: Vztah mezi hmotností splashe a srážkovým úhrnem na půdě z lokality Býkovice	56
Graf 11: Vztah mezi hmotností splashe a srážkovým úhrnem na půdě z lokality Petzenkirchen	57
Graf 12: Vztah mezi hmotností splashe a srážkovým úhrnem na půdě z lokality Mistelbach	57
Graf 13: Vztah mezi konsolidací půdy a hmotností splashe na půdě z lokality Býkovice	59

Graf 14: Vztah mezi konsolidací půdy a hmotností splashe na půdě z lokality Petzenkirchen	59
Graf 15: Vztah mezi konsolidací půdy a hmotností splashe na půdě z lokality Mistelbach	60
Graf 16: Vyznačení půdních vzorků z lokality Praha (CTU), použitých pro toto vyhodnocení	62
Graf 17: Vyznačení půdních vzorků z lokality Petzenkirchen, použitých pro toto vyhodnocení	64
Graf 18: Vyznačení půdních vzorků z lokality Býkovice, použitých pro toto vyhodnocení	67
Graf 19: Vyznačení půdních vzorků z lokality Býkovice, použitých pro toto vyhodnocení	68
Graf 20: Rozpětí hodnot výšek nasypání na jednotlivých stanovištích	77
Graf 21: Vztah mezi konsolidací a kinetickou energií na jednotlivých půdách	86
Graf 22: Vztah mezi hmotností splashe a kinetickou energií na jednotlivých půdách	86
Graf 23: Vztah mezi konsolidací a hmotností splashe na jednotlivých půdách	87

17 POUŽITÉ ZDROJE

- [1] *Půda* [online]. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy v.v.i., 2019 [cit. 2019 - 05 - 05]. Dostupné z: <http://www.organickahmota.cz/#/puda>
- [2] NOVOTNÝ, Ivan, Vladimír PAPAJ, Jiří KAPIČKA et al. *Příručka ochrany proti erozi zemědělské půdy*. 3. aktualizované vydání březen 2017. Praha: Ministerstvo zemědělství, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2017. ISBN 978 - 80 - 87361- 67-2.
- [3] *Vodní eroze* [online]. b.r. [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <http://eroze.sweb.cz/home.htm>
- [4] BÁČOVÁ, Markéta. *Monitoring projevů vodní eroze na zemědělských půdách*. Praha, 2018. Disertační práce. České vysoké učení v Praze, Fakulta stavební. Vedoucí práce Doc. Ing. Josef Krása, Ph.D.
- [5] *Splash Erosion (Rain Drop Impact)* [online]. 2014 [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <https://dpiwwe.tas.gov.au/agriculture/land-management-and-soils/soil-management/soil-erosion/soil-erosion-types/water-erosion/splash-erosion>
- [6] KRÁSA, Josef. *Empirické modely vodní eroze v ČR*. Praha, 2010. Habilitační práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební.
- [7] *Srážky* [online]. b.r. [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: <https://www.meteocentrum.cz/zajimavosti/encyklopedie/srazky>
- [8] KRÁLOVÁ, Magda. *Atmosférické srážky* [online]. b.r. [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/meteorologie/atmosfericke-srazky>
- [9] *Vznik a klasifikace srážek* [online]. 2016 [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: <http://meteo-aktuality.blog.cz/1601/vznik-a-klasifikace-srazek>
- [10] KADLECOVÁ, Tereza. *Vyhodnocení rýhové eroze s využitím blízké fotogrammetrie*. Praha, 2018. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební. Vedoucí práce Doc. Ing. Josef Krása, Ph.D.

- [11] *Fotogrammetrie, Laserové skenování* [online]. Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, 2018 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: http://uhulag.mendelu.cz/files/pagesdata/cz/geodezie/geodezie__2018/fotogrammetrie.pdf
- [12] PAVELKA, Karel. *Fotogrammetrie 1*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2009. ISBN 978-80-01-04249-6.
- [13] ŽÍŽALA, Daniel, Josef KRÁSA, Markéta BÁČOVÁ, Kateřina ZELENKOVÁ, Tomáš LABURDA a Ivan NOVOTNÝ. *Monitoring erozního poškození půd v ČR nástroji dálkového průzkumu Země*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy v.v.i., České vysoké učení technické v Praze, 2016. ISBN 978-80-87361-63-4.
- [14] *Agisoft - About* [online]. Agisoft LLC, 2019 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://www.agisoft.com/about/>
- [15] *Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition, Version 1.4*. St. Petersburg: Agisoft, 2018.
- [16] ŘEZBA, Martin. *Využití pozemní fotogrammetrie pro inventarizaci lesních porostů*. Brno, 2017. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta. Vedoucí práce Ing. Tomáš Mikita, Ph.D.
- [17] *Desktopový GIS* [online]. b.r. [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://www.arcdata.cz/produkty/arcgis/desktopovy-gis/arcmap>
- [18] BALENOVIC, Nives. *Annual report on soil splash and kinetic energy measurements in Mistelbach, Petzenkirchen and Prague in 2017*. Vienna: University of Natural Resources and Life Sciences, 2018.
- [19] MORGAN, R. Field measurement of splash erosion. *Field measurement of splash erosion*. Bedford: National College of Agricultural Engineerin, 1981, s. 373 - 382.
- [20] ZUMR, David, Martin NEUMANN, Tomáš LABURDA et al. *Measuring the kinetic energy of rainfall and the soil particles detachment*. 2018.
- [21] *Půdní uhličitany* [online]. 2019 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af__291__projekty2/vseo/print.php?page=5499&typ=html

- [22] *Kyselost půdy* [online]. 2013 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z:
http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=kyselost_pudy_pudni_reakce&site=puda
- [23] DEVÁTÝ, Jan. *Process splash sample DEMs: skript pro výpočet půdních charakteristik*. Praha, 2018.