

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Katedra fyzické geografie a geoekologie

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Navazující magisterské studium fyzické geografie a geoekologie



Jiří KOCUM

Vyhodnocení struktury půdního pokryvu pomocí DPZ

Evaluation of soil coverage with Remote sensing

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Luděk Šefrna, CSc.

Praha 2020

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 13.5. 2020

.....

Bc. Jiří Kocum

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé práce RNDr. Luďkovi Šefrnovi, CSc. za věnovaný čas, pomoc při shromažďování dat, cenné rady a připomínky. V neposlední řadě děkuji své rodině a přátelům za podporu v průběhu celého studia.

Zadání diplomové práce

Téma práce

Vyhodnocení struktury půdního pokryvu pomocí DPZ.

Cíle práce

Cílem práce je analyzovat letecké snímky s viditelnou půdní mozaikou. Určit genezi a analyzovat tvar těchto mozaik. Vytvořit klasifikaci, do které by na základě volně dostupných dat mohly být mozaiky rozříděny. Porovnat mezi sebou použité přístupy a ověřit jimi dosažené výsledky.

Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje

Použité pracovní metody: Rešerše odborné literatury zaměřené na studium klasifikace a mapování půd, využití fraktální geometrie a dálkového průzkumu v pedologii, analýza volně dostupných leteckých snímků s viditelnou půdní mozaikou s využitím GIS. Výpočty fraktální geometrie pomocí programu ImageJ a nástroje V-LATE v prostředí ArcGIS.

1. krok – analýza odborné literatury na dané téma
2. krok – analýza volně dostupných leteckých snímků. Výběr lokalit.
3. krok – Analýza vybraných lokalit pomocí podkladových map, vytvořených rastrů a mřížkové metody pro výpočet fraktální dimenze.
4. krok – Vytvoření klasifikace (dle geneze) pro zkoumaná místa a jejich rozřídění.
5. krok – Porovnání výsledků klasifikace s vypočtenými hodnotami fraktální dimenze.
6. krok – Srovnání vlastní práce s ostatními pracemi na podobné téma.

Datové zdroje: informační zdroje, DMR 5G, volně dostupné letecké snímky (mapy.cz), mapy KPP a BPEJ

Datum zadání: 17. 1. 2019

Bc. Kocum Jiří

RNDr. Luděk Šefrna, CSc.

.....

Podpis studenta

.....

Podpis vedoucího práce

ABSTRAKT

Téma: Vyhodnocení struktury půdního pokryvu pomocí DPZ

Autor: Bc. Jiří Kocum

Obor: Navazující magisterské studium fyzické geografie a geoekologie

Vedoucí práce: RNDr. Luděk Šefrna, CSc.

Půdní kryt České republiky je velmi dobře zmapován, zejména díky Komplexnímu průzkumu půd ze 70. let 20. století. Výstupy tohoto mapování byly digitalizovány a dnes tvoří cenná podkladová data pro mnoho analýz, studií, územní plánování a jiné administrativní potřeby. I přes značnou podrobnost však nezachycují mnoho nezanedbatelných jevů, ať už z důvodu nepřesnosti v době vytváření těchto dat, tak z důvodu neustále probíhajících přírodních procesů, v tomto případě hlavně erozi půdy.

Tato práce se zabývá půdními mozaikami, které jsou viditelné z leteckých snímků na zemědělské půdě, ale nejsou postiženy v mapách Komplexního průzkumu půd. Pro tento účel bylo vybráno 50 míst v České republice, na kterých jsou mozaiky studovány. Pozornost je věnována způsobu vzniku, místům výskytu a samotnému tvaru mozaiky. Na základě těchto proměnných byla vytvořena klasifikace jednotlivých druhů mozaik.

Výsledná klasifikace je tvořena 3 skupinami dohromady obsahujícími 9 kategorií. Ne všechna vybraná místa vykazují znaky pouze jedné kategorie. Mozaika je často tvořena několika typy a výsledný tvar je součtem mnoha procesů. Jako rozhodující byla zvolena převládající příčina vzniku mozaiky na daném pozemku.

Byly vypočteny fraktální dimenze tvarů jednotlivých mozaik ve snaze popsat vztah mezi příčinou a tvarem mozaiky. Výpočty byly provedeny programem ImageJ a nástrojem V-LATE 2.0 za použití mřížkové metody pro výpočet fraktální dimenze. Získané výsledky byly analyzovány a porovnány s vytvořenou klasifikací.

klíčová slova: půdní mozaika, DPZ, eroze, klasifikace, fraktální dimenze, mřížková metoda, V-LATE, ImageJ

ABSTRACT

Title: Evaluation of soil coverage with Remote sensing

Author: Bc. Jiří Kocum

Study Programme: Master studies in Physical Geography and Geoecology

Supervisor: RNDr. Luděk Šefrna, CSc.

Soil coverage of Czech Republic is well mapped, especially thanks to Complex Soil Survey during the 1970s. Results of this survey were digitalized and nowadays they are useful for many analysis, studies, spatial planning and other administrative needs. Despite their considerable details, they are not capturing many of the non-negligible phenomena, either due to inaccuracies at the time of collecting these data or due to ongoing natural processes, in this case mainly soil erosion.

This thesis deals with soil mosaics that are visible from aerial photographs on agricultural land but are not affected in the Complex Soil Survey maps. For this purpose 50 locations in the Czech Republic were selected where mosaics are studied. Attention is paid to the way of origin, places of occurrence and the shape of the mosaic itself. Based on these variables a classification of individual mosaic types was created.

The resulting classification consists of 3 groups together containing 9 categories. Not all selected locations contain only one type of category. The mosaic is often made up of several types, and the resulting shape is the sum of many processes. The dominant cause of the mosaic formation was chosen as the decisive one.

Fractal dimensions of shapes of individual mosaics were calculated in an effort to describe the relationship between the cause and the shape of the mosaic. The calculations were made with program ImageJ and tool V-LATE 2.0 using the Box-count method to calculate fractal dimensions. The obtained results were analyzed and compared with the created classification.

keywords: soil mosaic, Remote Sensing, erosion, classification, fractal dimension, Box-counting method, V-LATE, ImageJ

Obsah

SEZNAM TABULEK	9
SEZNAM OBRÁZKŮ	10
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	11
1. Úvod	12
2. Teoretický rámec	13
2.1 Klasifikace Půd	13
2.1.1 Počátky klasifikace půd	13
2.1.2 Současná klasifikace půd	14
2.1.3 Klasifikace půd v ČSFR	15
2.1.4 Taxonomický klasifikační systém půd České republiky	17
2.2 Mapování půd	17
2.2.1 Historie mapování půd	17
2.2.2 Terénní průzkumy	19
2.2.3 Digitální mapování půdy	20
2.2.4 Pedometrické metody	22
2.3 Dálkový průzkum Země	23
2.3.1 Měření rozdílů půdních vlastností	23
2.4 Eroze půdy	25
2.4.1 Odhady rozsahu eroze	26
2.4.2 Modelování eroze	26
2.4.3 Rovnice USLE	27
2.5 Polygonální síť	29
2.5.1 Permafrost	29
2.5.2 Rozšíření permafrostu na území ČR	30
2.5.3 Mrazové klíny	30
2.5.4 Pseudomorfózy mrazových klínů na území ČR	31
2.6 Fraktální geometrie	33
2.6.1 Fraktál	33
2.6.2 Výskyt fraktálů	33
2.6.3 Využití fraktálů	34
3. Metodika	35
3.1. Použitá data	35
3.2 Práce s datovými vrstvami	41
3.3 Klasifikace	48

3.3.1 Klasifikace dle geneze	49
3.3.1.1 Vliv hloubky, mocnosti a vlastností matečné horniny	49
3.3.1.2 Vliv tvaru reliéfu	52
3.3.1.3 Vliv Antropogenní činnosti a reliktní tvary	56
3.3.2 Klasifikace dle fraktální dimenze	58
4. Výsledky	59
5. Diskuze	65
6. Závěr	73
7. Literatura	75
Internetové zdroje	84
8. Přílohy	85

SEZNAM TABULEK

Tab. č. 1:	Hlavní taxonomické klasifikační systémy a převody mezi nimi.	str. 16
Tab. č. 2:	Rok zahájení národních pedologických průzkumů.	str. 18
Tab. č. 3:	Procentuální zmapování území vybraných států a použítá měřítka.	str. 19
Tab. č. 4:	Vybrané lokality.	str. 38
Tab. č. 5:	Půdní typy.	str. 40
Tab. č. 6:	Hloubka a skeletovitost půdy.	str. 40
Tab. č. 7:	Rozdělení do tříd klasifikace dle geneze a fraktální dimenze.	str. 61
Tab. č. 8:	Hodnoty výpočtu fraktální dimenze programem ImageJ.	str. 62
Tab. č. 9:	Rozdíly hodnot fraktální dimenze D.	str. 63
Tab. č. 10:	Porovnání hodnot fraktální dimenze a stanovených skupin.	str. 64
Tab. č. 11:	Výpočet ceny pozemku dle HPJ v mapách BPEJ.	str. 73
Tab. č. 12:	Výpočet ceny pozemku dle map vytvořených v práci Kocum (2018)	str. 73

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1:	Vliv prostorového rozlišení dat na výsledky modelů.	str. 24
Obr. č. 2:	Potencionální ztráta půdy vodní erozí v ČR.	str. 27
Obr. č. 3:	Mapa rozmístění mrazových klínů v práci Vohradský (2013).	str. 32
Obr. č. 4:	Kochova křivka.	str. 34
Obr. č. 5:	Viditelnost mozaiky výrazná. Lokalita u obce Kleneč.	str. 36
Obr. č. 6:	Viditelnost mozaiky malá. Lokalita u obce Kleneč.	str. 36
Obr. č. 7:	Viditelnost mozaiky nulová. Lokalita u obce Kleneč.	str. 37
Obr. č. 8:	Znázornění stavu vegetace v hlubokých profilech.	str. 37
Obr. č. 9:	Znázornění stavu vegetace v mělkých profilech na tomtéž poli.	str. 38
Obr. č. 10:	Mapa vybraných lokalit.	str. 40
Obr. č. 11:	Vybraná mozaika na leteckém snímku u obce Těmice.	str. 42
Obr. č. 12:	Příklad zobrazení půdní mozaiky na vybrané lokalitě.	str. 42
Obr. č. 13:	Tabulkový výstup z programu ImageJ.	str. 43
Obr. č. 14:	Grafový výstup z programu ImageJ.	str. 44
Obr. č. 15:	Prostředí nástroje V-LATE 2.0	str. 45
Obr. č. 16:	Výstup z nástroje V-LATE 2.0	str. 45
Obr. č. 17:	Schéma postupu vytvořeného nástroje v model builderu.	str. 46
Obr. č. 18:	Vytvořený nástroj pomocí model builderu.	str. 47
Obr. č. 19:	Zástupce kategorie [A]. Lokalita Kleneč #1.	str. 50
Obr. č. 20:	Zástupce kategorie [B]. Lokalita Šumperk #2.	str. 51
Obr. č. 21:	Zástupce kategorie [C]. Lokalita Kleneč #9.	str. 52
Obr. č. 22:	Zástupce kategorie [D]. Lokalita Šardice #8.	str. 53
Obr. č. 23:	Výřez DMR 5G lokality z Obrázku č. 22	str. 53
Obr. č. 24:	Zástupce kategorie [E]. Lokalita Šardice #1.	str. 55
Obr. č. 25:	Ovlivnění půdního profilu vodní erozí na příkladu luvizemí.	str. 55
Obr. č. 26:	Zástupce kategorie [G]. Lokalita Milotice #1.	str. 57
Obr. č. 27:	Zástupce kategorie [H]. Lokalita Těmice #1.	str. 57
Obr. č. 28:	Příklad kategorie [I]. Mozaika po zaniklém sadu.	str. 58
Obr. č. 29:	Schéma vytvořených kategorií.	str. 60
Obr. č. 30:	Vypočtené hodnoty fraktální dimenze.	str. 64
Obr. č. 31:	Rozdělení studované oblasti u obce Kleneč do kategorií dle	str. 72

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

BPEJ	B onitovaná P ůdně E kologická J ednotka
DgSMU	D isaggregation of S oil M ap U nits
ČMSZP	Českomoravský Svaz Z emědělských P odnikatelů
ČÚZK	Český Úřad Z eměměřičský a K atastrální
DMR 5G	D igitální M odel R eliéfu 5. G enerace
DMT	D igitální M odel T erénu
DPZ	D álkový P růzkum Z emě
DSM	D igital S oil M apping
FAO	F ood and A griculture O rganization of the U nited N ations
GIS	G eoinformační S ystémy
GPS	G lobal P ositioning S ystem
HPJ	H lavní P ůdní J ednotka
ISSS	I nternational S oil S cience S ociety
IUSS	I nternational U nion of S oil S cience
KPP	K omplexní P růzkum P ůd
KSLP	K lasifikační S ystém L esních P ůd
MGKSP	M orfogenetický K lasifikační S ystém P ůd
NCSS	N ational C ooperative S oil S urvey
NDVI	N ormalized D ifference V egetation I ndex
OSN	O rganizace S pojených N árodů
RUSLE	R evised U niversal S oil L oss E quation
ST	S oil T axonomy
TKSP	T axonomický K lasifikační S ystém P ůd
UAV	U nmanned A erial V ehicle
ÚHUL	Ústav pro H ospodářskou Ú pravu L esů
UNESCO	U nited N ations E ducational, S cientific and C ultural O rganization
USDA	U nited S tates D epartment of A griculture
USLE	U niversal S oil L oss E quation
VÚMOP	V ýzkumný Ú stav M eliorací a O chrany P ůdy
WRB	W orld R eference B ase
ZPF	Z emědělský P ůdní F ond

1. Úvod

Moderní svět vědy zažívá v posledních třech dekáдах neuvěřitelně rychlý rozmach výpočetní techniky a techniky jako takové. S obrovskou poptávkou po datech přibývá i jejich objem, který se už dávno nepočítá v kilobytech, ale ani jednotky jako jsou petabyty či exabyty by asi nestačily pro popsání jejich denního příbytku. S tím rostou i možnosti bádání. Je možné v relativně krátkém čase získat značné množství dat a prozkoumat tak rozsáhlá území, která by v minulosti byla buď nepřístupná, nebo by jejich prozkoumání trvalo mnoho let. Neroste jen množství dat, ale také jejich kvalita. Jsou však dnes k dispozici dostatečně kvalitní data? Vše připomíná problém s délkou pobřeží Velké Británie. Délku více méně známe, ale dá se vždy jít více a více dopodrobna, až ke zjištění, že se délka samotné hranice blíží do nekonečna. Hranice mezi tím, kdy jsou data stále ještě hrubá a kdy jsou již zbytečně příliš podrobná záleží na účelu jejich využití a na potřebách vědců, kteří s těmito daty pracují. Kdy lze říci, že daná podrobnost vytvořené mapy stačí. Lze ji udělat ještě podrobněji. A kdy je další nárůst podrobnosti zbytečným.

V České republice jsou díky obrovskému úsilí mnoha jedinců, a provedenému Komplexnímu průzkumu půd (KPP), velmi precizně zpracované pedologické mapy pro celý zemědělský půdní fond (ZPF), který tvoří lehce přes polovinu půdního fondu ČR. Takto podrobným zmapováním území disponuje jen několik málo dalších států. I přes značnou detailnost výsledných map se lze setkat s nepřesnostmi. Některé mohou pramenit z nedokonalého vymezení půdního areálu daným posuzovatelem, který při pouhém pohledu kolem sebe v terénu, neměl možnost přesněji zachytit jevy, které jsou dnes viditelné z leteckých snímků. Jiné nesrovnalosti jsou způsobeny degradací půdy v důsledku špatného hospodaření, a především neustále probíhající a stále sílící erozi půdy, která kvůli kolektivizaci, klimatickým změnám, a ne vždy správným postupům hospodářů neustále nabírá na intenzitě.

Tato práce navazuje na bakalářskou práci „*Dálkový průzkum jako indikátor změn struktury půdního pokryvu*“ (Kocum 2018) a věnuje se půdním mozaikám viditelným z leteckých snímků, které však nejsou postiženy mapovými výstupy KPP. Za pomoci především leteckých snímků a DMR 5G jsou na 50 vybraných lokalitách v ČR tyto mozaiky zkoumány a cílem je vytvoření klasifikace, která by jednotlivé druhy mozaik popsala, seskupila do kategorií na základně podobných vlastností a umožnila snadnou klasifikaci i dalších mozaik s použitím jen volně dostupných dat. Dále je zde snaha popsat tyto mozaiky na základě jejich tvaru, resp. jejich fraktální dimenze a ověřit tak výše zmíněnou vytvořenou klasifikaci.

2. Teoretický rámec

V této kapitole jsou představeny a stručně popsány všechny okruhy blízce související s touto prací. Jedním z cílů práce je klasifikace půdních mozaik, proto jsou zde popsány způsoby klasifikace a mapování půd. Dále je věnována pozornost procesům úzce souvisejícím se studovanými mozaikami – eroze půdy a vznik polygonálních sítí. S ohledem na snahu studovat samotný tvar mozaik je věnována pozornost i fraktální geometrii a její využití v pedologii.

2.1 Klasifikace Půd

2.1.1 Počátky klasifikace půd

„Knowledge about a subject must be accumulated before that subject can be classified“ (Marbut 1992). Počátky hospodaření s půdou sahají do doby asi 9 000 let p. n. l. První zmínka pochází z oblasti Jarmo v Iráku. S postupující dobou lidé vyvinuli stále důmyslnější postupy a metody, jak půdu obhospodařovat. Systém zavlažování, byl poprvé využit již v jižním Iráku 7 500 let p. n. l. (Troeh et al. 2004). Obhospodařování půdy pomocí prvních pluhů, budování teras nebo drenáží bylo vyvinuto mezi lety 6 000 a 500 let p. n. l. v různých částech Evropy (Brevik a Hartemink 2010) a díky Májům a předchůdcům Inků také ve Střední a Jižní Americe (Hillel 1991; Jensen et al. 2007).

Začátky hospodaření jistě probíhaly formou pokus omyl. Existují ale důkazy, že již mezi lety 3 000 až 2000 p. n. l. lidé využívali hlavně ty půdy, které byly pro zemědělství vhodnější (Krupenikov 1992). Půdou se velmi zabývali i Řekové, pro které byla eroze půdy a salinizace vážným problémem v zemědělství (Miller a Schaetzl 2014). Na poznatky Řeků navázali Římané, konkrétně například Catón, Varrón, a později Columel, jenž prohlásili zemědělství za vědu a půdu za jednu z nejdůležitějších komponent této vědy (Marbut 1992).

Marbutova myšlenka je splněna, poznatky jsou shromážděny a půdu je možné začít klasifikovat. První půdní klasifikace byly agronomického typu. Nejednalo se o genetickou klasifikaci půd tak jak ji známe dnes. Mezi vůbec první klasifikace se řadí Čínská půdní klasifikace z doby přibližně 2 000 let p. n. l. (Gong et al. 2003) a Římská klasifikace z doby 300 let p. n. l. od Columela, který půdu detailně popisoval ve svém díle *Res Rustica*.

Kromě Asie a Evropy se klasifikace vyvíjely i ve Střední Americe, kde se pomocí nich Mayská říše snažila dosáhnout lepších výsledků ve svém zemědělství (Wells a Mihok 2010).

2.1.2 Současná klasifikace půd

V současnosti existuje mnoho půdních klasifikačních systémů. Jedná se o systémy národní, vytvořené danými zeměmi, nebo klasifikace nadnárodní, vytvořené mezinárodními organizacemi ve snaze sjednotit všechny klasifikační systémy do jednoho celosvětového systému a zjednodušit tak práci v tomto vědním odvětví nastavením jednotného názvosloví a jasně definovanými kategoriemi.

S první mezinárodní klasifikací svého druhu přišly, při tvorbě legendy světové půdní mapy, společně dvě organizace spadající pod Organizaci Spojených Národů (OSN), a to Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) a United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), které v roce 1968 vytvořily FAO/UNESCO Legend of the Soil Map of the World. Ta obsahovala 26 půdních jednotek a 106 subtypů. Jedná se o legendu k mapě světa složené z 18 mapových listů s měřítkem 1:5 000 000, která znázorňuje převládající půdní jednotku.

Velkou změnou prošla mezinárodní klasifikace v roce 1988 poté, co byl vytvořen systém World Reference Base for Soil Resources (WRB) schválený organizací International Soil Science Society (ISSS; dnes International Union of Soil Science, IUSS). Aktuální platná verze tohoto klasifikačního systému je doplněná verze 3. edice z roku 2014, vydaná v roce 2015. Systém si propůjčuje mnoho postupů a metod z ostatních již existujících klasifikací a díky následným podobnostem je přechod mezi klasifikacemi jednodušší. WRB čerpá z poznatků předchozí mezinárodní klasifikace FAO/UNESCO Legend of the Soil Map of the World, americké Soil Taxonomy (ST), francouzské Référentiel Pédologique a ruského půdního klasifikačního systému. WRB obsahuje celkem 32 referenčních tříd.

United States Department of Agriculture (USDA) a National Cooperative Soil Survey (NCSS) v roce 1975 publikovali Americkou půdní klasifikaci (ST), která nahrazovala předchozí systém USDA Soil Taxonomy z roku 1938. Byla vytvořena pro potřeby Spojených Států Amerických, ale hojně uplatnění našla i v Latinské Americe a Asii. Některé postupy klasifikace, jež byly vytvořeny pro účely ST dále převzala organizace FAO pro vytvoření novějšího klasifikačního systému WRB. ST je klasifikace snažící se seskupovat podobné půdy do stále obecnějších kategorií. Takto se snaží klasifikovat všechny světové půdy.

Hlavním účelem však vždy byla hlavně klasifikace půd nacházejících se v USA. Na rozdíl od předešlé klasifikace z roku 1938, která měla pouze 3 řády (Orders), novější ST obsahovala řádů 10 a po revizi v roce 1999 má řádů 12 (cit. FAO). V hierarchickém pořadí následují podřády (Suborder), velké skupiny (Great Group), podskupiny (Subgroup), čeledi (Family) a půdní série (Series). Základem pro rozřazení je přítomnost přesně definovaných diagnostických horizontů (Němeček 1989).

Kromě mezinárodní půdní klasifikace WRB a americké USDA ST, které jsou používány v mnoha zemích světa, existuje i mnoho národních klasifikačních systémů například v Austrálii, Číně, Brazílii, Kanadě, Jižní Africe, Francii, Rusku, Německu, Norsku nebo v České a Slovenské republice.

2.1.3 Klasifikace půd v ČSFR

V Česku, potažmo v Československu bylo používáno více klasifikačních systémů, které bylo těžké sjednotit. Průzkum zemědělských půd 1967; Klasifikační systém lesních půd 1965, 1970, 1971 aj. (Převodem a sjednocením těchto systémů se současným klasifikačním systémem ČR se zabývala Zádorová et al. (2020)). Důsledkem toho bylo v roce 1987 rozhodnuto o vytvoření nového jednotného klasifikačního systému v ČSFR, který by odpovídal systému mezinárodnímu. Vznikl tak Morfogenetický klasifikační systém půd (MGKSP) ČSFR, jehož autory byly Hraško, Němček, Šaly a Šurina. V roce 1991 pak bylo publikováno doplněné druhé vydání tohoto systému. Následoval Klasifikační systém lesních půd (KSLP) sestavený Ústavem pro hospodářskou úpravu lesů (ÚHÚL) v Brandýse nad Labem uplatňující MGKSP (Vokoun, Macků et al. 1993) a nahrazující dosavadní lesní klasifikační systém půd (Houba, Plíva 1976). Po rozpadu Československé republiky si obě země vytvořily vlastní klasifikační systémy. Na Slovensku v roce 2000 tým slovenských pedologů v čele s Rudolfem Šalou vydal Morfogenetický klasifikační systém pôd Slovenska a v České republice v roce 2001 profesor Němeček vytvořil Taxonomický klasifikační systém půd (TKSP) České republiky. V současnosti se používá jeho druhé vydání z roku 2011.

Tabulka č. 1: Hlavní taxonomické klasifikační systémy a převody mezi nimi.

Hlavní klasifikační systémy a převody mezi nimi					
Převod do USDA ST	Třídy klasifikačních systémů			Převod do WRB	
TKSP ČR	USDA ST	TKSP ČR	WRB	USDA ST	TKSP ČR
Luvisoly	Alfisols	Andosoly	Acrisols	Ultisols	-
Andosoly	Andisols	Antroposoly	Alisols	Ultisols	-
-	Aridisols	Černosoly	Andosols	Andisols	Andosoly
Leptosoly, Regosoly, Fluvisoly	Entisols	Fluvisoly	Anthrosols	-	Antroposoly
-	Gelisols	Glejsoly	Arenosols	Entisols	Regosoly
Organosoly	Histosols	Kambisoly	Calcisols	Aridisols	-
Kambisoly	Inceptisols	Leptosol	Cambisols	Inceptisols	Kambisoly
Černosoly	Mollisols	Luvisoly	Chernozems	Mollisols	Černosoly
-	Oxisols	Natrisoly	Cryosols	-	-
Podzosoly	Spodosols	Organosoly	Durisols	Aridisols	-
-	Ultisols	Podzosoly	Ferralsols	Oxisols	-
Vertisoly	Vertisols	Regosoly	Fluvisols	Entisols	Fluvisoly
-	-	Salisoly	Gleysols	Entisols	Glejsoly
-	-	Stagnosoly	Gypsisols	Aridisols	-
-	-	Vertisol	Histosols	Gelisols, Histosols	Organosoly
-	-	-	Kastanozems	Mollisols	-
-	-	-	Leptosols	Entisols	Leptosoly
-	-	-	Lixisols	Alfisols	-
-	-	-	Luvisols	Alfisols	Luvisoly
-	-	-	Nitisols	Alfisols	-
-	-	-	Phaeozems	Mollisols	Černosoly
-	-	-	Planosols	-	-
-	-	-	Plinthosols	Oxisols	-
-	-	-	Podzols	Spodosols	Podzosoly
-	-	-	Regosols	Entisols	Regosoly
-	-	-	Retisols	Alfisols	-
-	-	-	Solonetz	-	Natrisoly
-	-	-	Solonchaks	Aridisols	Salisoly
-	-	-	Stagnosols	-	Stagnosoly
-	-	-	Technosols	-	Antroposoly
-	-	-	Umbrisols	Inceptisols	-
-	-	-	Vertisol	Vertisols	Vertisoly

Prostřední část tabulky je výpis všech referenčních tříd / řádů zvolených klasifikačních systémů, řazených dle abecedního pořadí. Pravá část tabulky popisuje převod USDA ST a TKSP ČR systému do WRB. Levá část tabulky popisuje vztah mezi TKSP ČR a USDA ST. Zdroj: webové stránky FAO, USDA a ČZU.

2.1.4 Taxonomický klasifikační systém půd České republiky

TKSP České republiky navazuje na MGKSP a KSLP a během sestavování byl mnohokrát konfrontován s hlavními světovými klasifikačními systémy WRB a USDA ST. TKSP ČR je dělen na 15 referenčních tříd, které obsahují celkem 21 půdních typů. Následují půdní subtypy variety, fáze a formy.

Referenční třída je nejvyšší jednotka v tomto klasifikačním systému. Je definována na základě hlavního půdotvorného procesu a názvy mají koncovku -sol. Půdní typy jsou určeny dle skladby diagnostických půdních horizontů a názvy mají koncovku -zem. Půdní subtypy určují modifikace půdních typů typicky v hloubce níže než 0,2 až 0,25 m a menší diagnostické horizonty. V případě malého stáří půdy a absenci menších diagnostických horizontů je k určení použita např. půdní zrnitost. V případě variet se zkoumají fyzikálně-chemické vlastnosti půdy, u fází se hodnotí formy nadložního humusu lesních půd a formou je určen typ substrátu (resp. jeho mineralogické složení, vrstevnatost a zrnitost) (Němeček 2011).

2.2 Mapování půd

2.2.1 Historie mapování půd

První mapy věnující se půdě se objevily v 17. století. Příkladem je mapa Saského zeměměřiče a kartografa Matthiase Ödera z roku 1607 (Woodward 2007). Jedná se o zmapování Saska v měřítku 1:33 333 s jižní orientací. V mapě jsou zaneseny sídla, komunikace, řeky, půdní pokryv, využití půdy, vlastnické hranice a mnoho dalších tematických vrstev (mosty, mlýny, hospody atd.). Nejedná se přímo o mapu půdních typů, je zde zanesen spíše land use a land cover. Detailnější mapy půdních typů jsou známy až v pozdějším období, a to zejména z toho důvodu, že pedologie, jakožto vědní obor, je znám až od 18. století, kdy se tomuto tématu začali věnovat geologové, geografové, geochemici a inženýři jako například Julius Hilgard, Ferdinand von Richthofen a zakladatel genetického půdoznalství a člověk, který vnesl půdu do map, Vasilij Vasiljevič Dokučajev. Součástí jeho díla *Материалов по оценке земель Нижегородской губернии* (Klasifikace půd Nižnonovgorodské gubernie) byla geologická a pedologická mapa, jenž by se zřejmě dala považovat za první svého druhu na světě. Dokučajev za svůj život publikoval mnoho prací, knih a 4 geologicko-pedologické mapy (Vtorov 2014).

Jednotlivá detailní národní mapování začaly v mnoha zemích začátkem 20. století. Jako první se tak stalo v USA v roce 1899 a v průběhu několika málo let následovaly další země (Tabulka č. 2). Ke konci 20. století měly některé země již detailně zmapované celé své území, nebo alespoň značnou část (Tabulka č. 3). Mnoho zemí mělo však zmapováno méně než polovinu svého území nebo dokonce jen mizivá procenta své rozlohy. Použitá měřítko se pohybovala od velmi velkých (1:2 000) až po střední (1:126 720). Nejčastěji používaná měřítko byla 1:25 000 a 1:50 000. Velká měřítko byla použita pro mapování míst se speciálními potřebami, ať už šlo o řešení systému zavlažování, odvodnění nebo řešení problému kontaminace a sanace. Takové mapy byly vytvořeny například v Chorvatsku a Bulharsku viz. Tabulka 3. (Brevik et al. 2017). Ve 20. století byly v pedologii učiněny zásadní pokroky, které dodnes zjednodušují a vylepšují způsoby mapování. Posun vpřed byl zaznamenán v pedologickém modelování během 40. let 20. století, dále pak modelování eroze v 50. letech. V 70. a 80. letech díky zpřístupnění, rozšiřování využití a zdokonalování technik dálkového průzkumu Země (DPZ), pokroku výpočetní techniky, rozvoji GIS, GPS a prostorové statistiky, významně rostla naše schopnost mapovat a modelovat půdy (Brevik et al. 2017).

Tabulka č. 2: Rok zahájení národních pedologických průzkumů.

Země	Rok	Země	Rok
USA	1899	Čína	1931
Rusko	1908	Polsko	1935
Kanada	1914	Nizozemsko	1945
Austrálie	1920	Ghana	1946
Velká Británie	1920	Malajsie	1955
Mexiko	1926	ČSR	1960
Sri Lanka	1930	-	-

Zdroj: Brevik et al. 2017, str. 8.

Tabulka č. 3: Procentuální zmapování území vybraných států a použitá měřítka.

Země	Zmapovaná území (%)	Měřítka	Poznámka
Bulharsko	100	1:25 000	Některé oblasti v měřítku 1:1 000 – 1:5 000
Česká republika	100	1:50 000	-
Chorvatsko	100	1:5 000 – 1:50 000	Důležité oblasti v měřítku 1:5 000 – 1:10 000
Maďarsko	100	1:25 000	70% zemědělských oblastí zmapovaných v měřítku 1:10 000
Nizozemsko	100	1:50 000	-
Slovinsko	100	1:25 000	-
Belgie	85	1:20 000	-
USA	> 85	1:15 840 – 1:24 000	-
Rumunsko	80	1:50 000 – 1:100 000	-
Portugalsko	55	1:50 000	-
Irsko	44	1:126 720	-
Rakousko	38	1:25 000	Dostupné mapy i v měřítku 1:2 000
Finsko	33	1:20 000 – 1:50 000	-
Velká Británie	24	1:25 000 – 1:63 360	Severní Irsko pouze v měřítku 1:50 000
Německo	13	1: 25 000	V některých spolkových zemích i v měřítku 1:5 000 a 1:10 000
Francie	12	1:100 000	-
Švýcarsko	7	1:25 000	-
Řecko	6	1:5 000 – 1:20 000	Zmapováno 39% zemědělské půdy
Švédsko	0,25	1:20 000	Zmapovány 3% zemědělské půdy

Zdroj: Brevik et al. 2017, str. 9.

2.2.2 Terénní průzkumy

Detailní terénní průzkumy za účelem zmapování půd započaly v mnoha místech světa začátkem 20. století. Jednalo se o průzkumy, během kterých bylo provedeno mnoho práce a vloženo značné úsilí a velké množství času obrovského počtu terénních pracovníků a lidí provádějící laboratorní rozbory. Na území České republiky to byl Komplexní průzkum půd (KPP) započatý v roce 1961 vládním usnesením č. 11 a vyhláškou ministerstva zemědělství č. 47/1961. V rámci tohoto průzkumu bylo během deseti let vykopáno přes 700 000 sond a provedeno

přes 2 miliony rozborů odebraných vzorků. Veškerá data byla použita k vytvoření map v měřítku 1:5 000 nebo 1:10 000 případně map 1:50 000 zahrnutých v okresní průvodní zprávě (zdroj: VÚMOP).

I přes značně detailní terénní průzkum a výsledné mapy ve velkém měřítku není pro problematiku této práce KPP ve většině případů ideálním zdrojem dat. Především z důvodu provedení daných průzkumů. Během samotného mapování bylo sice provedeno velké množství kopaných sond, při uvážení tehdejší rozlohy ZPF, jenž byla 44 717 km², však není výsledná hustota sond příliš vysoká (necelých 16 sond na 1 km²). Výsledné polygony půdních jednotek pak vznikaly expertním přístupem, kdy daný odborník do mapy zakreslil, často na základě jedné sondy, hranice celé půdní jednotky, a to v naprosté většině na základě tvaru okolního reliéfu. Jak se již ukázalo a bylo zmíněno i v práci Dálkový průzkum jako indikátor změn struktury půdního pokryvu (Kocum 2018), rozmanité mozaiky na zemědělských plochách v KPP nejsou dobře zmapovány, dokonce v naprosté většině případů zde chybí jakýkoliv náznak přítomnosti daných tvarů, a to jak v mapách půdních typů, tak i v mapách hloubky a skeletovitosti půd, které spíš jen kopírují hranice půdních typů.

2.2.3 Digitální mapování půdy

V současné době lidstvo řeší problémy jako je změna klimatu, ztráta biologické rozmanitosti, degradace půd, nedostatek vodních zdrojů a s tím spojené zajištění dostatku potravin. Všechny tyto procesy souvisí s funkcí půdy, která ovlivňuje produkci biomasy, pufraci životního prostředí, čištění vody a zmírňuje změny klimatu (Brevik 2017). K tomu, aby tyto problémy mohly být efektivně řešeny, jsou potřeba přesné a aktuální informace o stavu půdy. Většina půdních map má však nevyhovující měřítko, jsou příliš hrubé, nepřesné nebo velmi generalizované (Arrouays et al. 2014). Nevýhodou je také stáří map. Vzhledem k časové náročnosti, kterou celý proces zabere – terénní průzkum, zpracování dat, vytvoření tížených půdních map – tak ani recentní mapy nezobrazují aktuální stav půdy, který se, zejména v místech vysoce náchylných k degradaci, může značně měnit (Brevik 2017).

Základní paradigma konceptu Digital Soil Mapping (DSM) je teorie o půdotvorných faktorech vytvořená ruským vědcem a půdoznalcem V. V. Dokučajevem (1883), který byl během 19 století dál rozvinut Jennym (1941) a popsán rovnicí, která popisuje půdu jako funkci

pěti enviromentálních faktorů: klima (cl), organismy (o), reliéf (r), matečná hornina (p) a čas (t) (rovnice 1).

$$S = f(cl, o, r, p, t) \quad (1)$$

Rovnice modelu CLORPT. Kde cl – klima, o – organismy, r – reliéf, p – matečná hornina, t – čas.

Tento model, nazývaný dle svých proměnných CLORPT, je však mnohem více užitečný v běžném terénním průzkumu než v DSM, jelikož není prostorově explicitní ani kvantitativní. Proto byl pro účely DSM navržen model SCORPAN (McBratney 2003), který půdu, jako bod v prostoru a čase, popisuje funkcí sedmi enviromentálních kovariantů: půda (s), klima (c), organismy (o), reliéf (r), matečná hornina (p), stáří (a) a prostorové umístění (n) (rovnice 2).

$$S = f(s, c, o, r, p, a, n) \quad (2)$$

Rovnice modelu SCORPAN. Kde s – půda, c – klima, o – organismy, r – reliéf, p – matečná hornina, a – stáří, n – prostorové umístění.

Díky pokroku výpočetní techniky, zpřístupnění dat DPZ a jejich stále zlepšující se kvalitě, se již od začátku 90. let 20. století metody DSM stále rozvíjejí. Prvotní výzkumy vztahů mezi půdními vlastnostmi a půdotvornými faktory pomohly k tomu, abychom byli schopni přejít do fáze kdy (pokud známe přírodní proměnné – faktory ovlivňující tvorbu půdy a její vlastnosti) jsme schopni vypočítat / vymodelovat vlastnosti dané půdy v daném místě. Mezi nástroje používané k těmto výpočtům patří například lineární regrese, klasifikační a regresní stromy, neuronové sítě a fuzzy logika (McBratney et al. 2003). K prvním pracím na toto téma lze zařadit práce Moore et al. (1993), jenž lineární regresí zkoumal vztah mezi půdními vlastnostmi (půdní textura, pH, obsah organické hmoty) a okolním terénem (sklonu, orientace svahů vůči světovým stranám a topografickému indexu vlhkosti – Topographic wetness index (TWI)). Následovaly další podobně zaměřené práce např. McKenzie a Austin (1993) aj. Modely založené na fuzzy klasifikaci byly použity např. v práci Zádorová et al. (2011) pro vymezení koluvizemí.

2.2.4 Pedometrické metody

I nejstarší půdní mapy vzniklé zhruba před 4 000 lety (Hartemink et al. 2013) využívaly podobné přístupy k tvorbě map jako mapy vytvořené před 50 lety, tj. vytvoření polygonů vymezujících jednotlivé půdní typy nebo půdní vlastnosti. Půda je však velmi složitý komplex a schopnosti člověka odvodit chybějící data v místech bez odebraných vzorků byly velmi málo rozvinuté nebo neexistovaly vůbec. Pedometrika, jako součást věd o půdě, se začala objevovat zhruba před třiceti lety, a to díky propojení pedologie s geostatistikou. Pedometrické metody si dávají za cíl zefektivnění plánování odběru vzorků, tím zrychlit a zlevnit odběr vzorků. Dále pak vyvinout metody, jak předpovídat vlastnosti půdy v oblastech, kde nebyly provedeny odběry vzorků, modelovat tak chování půdy a zpřesnit tím půdní mapy (McBratney et al. 2019).

V dnešní době existují tři druhy pedometrických přístupů. Prvním je Disagregace půdních mapových jednotek – Disaggregation of soil map units (DgSMU), který kombinuje data pořízená z klasického půdního průzkumu a digitálního mapování půd. Z těchto dat, leč se mohou lišit svým měřítkem, je následně možné sestrojít výslednou mapu s jemnějším měřítkem a vymezit tak různé specifické půdní zóny (Bui a Moran 2001). Bui (2001) ve své práci v rámci tohoto přístupu popisuje tři metody, jak s danými daty postupovat. Jaká metoda je v daný moment nejvhodnější je určeno expertním přístupem, funkcí mapy a její legendy. Druhý přístup odhaduje prostorové rozložení půdních vlastností pomocí geostatistických metod. Nevýhodou této metody je množství vzorků, které je potřeba odebrat, aby byla dostatečně postižena prostorová variabilita půdy (Hempel et al. 2008; Fraisse et al. 2001). Třetí přístup, plně závislý na pokroku výpočetní techniky, spočívá v algoritmech strojového učení, kde je půdní prostorová variabilita vystižena pomocí dat jako je DPZ, DMR, či zdánlivá elektrická vodivost (Castro Franco et al. 2015; Nitzte et al. 2012).

Tyto přístupy nacházejí své uplatnění jak v oblastech s nedokonalými půdními mapami, které jsou často tvořeny pouze generalizovanými polygony odvozených ze vztahů mezi půdou a okolní krajinou (Jenny 1941 cit. v Castro Franco et al. 2018; McBratney 2003), tak i v oblastech s dostupným detailnějším popisem půdních vlastností za účelem zpřesnění a zefektivnění precizního zemědělství.

2.3 Dálkový průzkum Země

„V širším významu jde o měření nebo získávání informací o vlastnostech objektů nebo jevů záznamovým zařízením, které není ve fyzickém nebo intimním kontaktu se studovaným objektem nebo jevem; znamená to použití zařízení na dálku (z letadla, družice, případně lodí) a znázornění jeho výstupu k získání informací o prostředí, jako je např. měření silového pole, elektromagnetického záření nebo akustické energie. Technika využívá takových zařízení, jako jsou (fotografické) komory, lasery, přijímače radiových vln, sonary, seizmografy, gravimetry, magnetometry a radiometry“ (Murdych 1985). Zjednodušeně řečeno se jedná o sběr informací týkající se zemského povrchu bez přímého kontaktu s ním. Tyto informace jsou získávány díky emitovaného a odraženého záření pozorovaných objektů na zemském povrchu (Kolář 2008). Celkem detailní rešerše na téma DPZ je zpracována v práci Kocum (2018), na kterou tato práce navazuje, a proto zde budou popsány pouze určité kapitoly přímo související se zkoumaným jevem. Ostatní i základní principy a teze DPZ jsou brány jako vysvětlené, a to díky odkazu na výše zmíněnou literaturu.

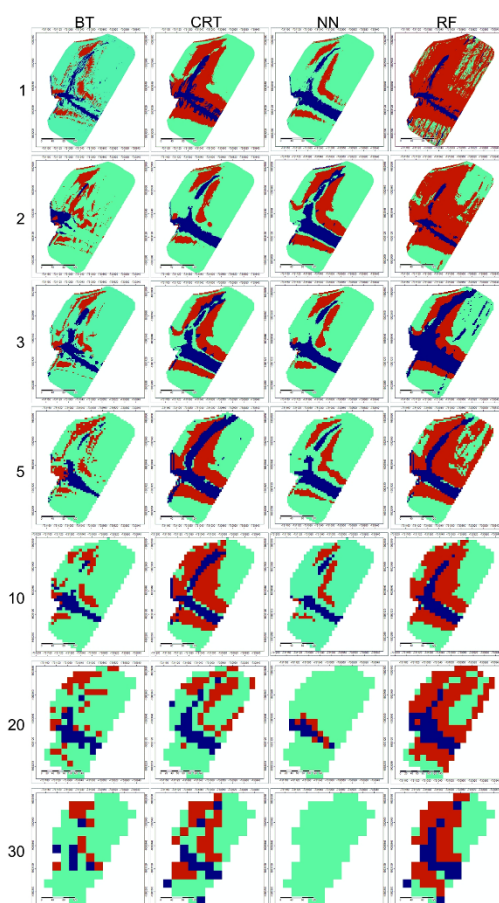
2.3.1 Měření rozdílů půdních vlastností

Stále větší množství studií v rámci DPZ vzniká na pedologická témata. Většina těchto studií k těmto účelům využívá zejména dva druhy záření. Blízké infračervené (Near InfraRed – NIR) jež má vlnovou délku 0,76 – 1,4 μm a krátkovlnné infračervené záření (Short-Wave InfraRed – SWIR) s vlnovou délkou 1,4 – 3 μm . Některé studie využívají také záření v oblasti viditelného a blízkého infračerveného spektra (Visible and Near InfraRed – VNIR) s vlnovou délkou 0,4 – 1,4 μm (Ben-Dor 1999). Z rozdílů naměřených křivek odrazivosti povrchu, je možné jednak určit půdní vlhkost, kdy voda záření pohlcuje a odrazivost je tak menší (Taktikou et al. 2016), tak i přítomnost půdní organické hmoty (Žižala et al. 2019; Wang et al. 2018) a půdní texturu (Gholizadeh et al. 2018).

Tu je možné zkoumat díky principu kdy „se snižující se velikosti částic půdních agregátů se zvyšuje odrazivost a snižuje se kontrast mezi absorpčními prvky“ (Atzberger 2002, cit. v Žižala et al. 2016b, s. 26). Poppiel et al. (2019) vytváří z hodnot odrazivosti mapu půdních druhů. Výsledná rastrová mapa je o velikosti pixelu 30 x 30 m a přesnost vůči realitě je 73 %. Neustálé studium této problematiky napomáhá k lepšímu mapování půd, vymezení degradovaných míst, kde je absence půdní organické hmoty v důsledku smyvu a vymezení erozně ohrožených lokalit. Výsledky těchto analýz silně závisí na kvalitě vstupních dat.

S obrovskou poptávkou dnešní doby po datech a informacích jsou tyto metody přínosné, protože dokáží relativně rychle a snadno podat informace o aktuálním stavu půdy na rozsáhlém území. Uplatnění by dozajista našly i při pomoci zpřesňování aktuálních map velkého měřítka, kde například mozaiky studované v této práci jsou způsobeny jak rozdíly obsahu organické hmoty, tak rozdíly v zrnitosti, a to vše se následně promítá i do půdní vlhkosti. K těmto účelům je však zapotřebí odrazivost měřit ze senzorů umístěných na letadlech nebo dronech (UAV) a získat tak snímky s vyšším rozlišením. Většina družicových snímků není schopna jemnou heterogéit postihnout, z důvodu zobrazení mozaiky do několika málo pixelů. Drobné mozaiky nemusí být postiženy vůbec. Vlivu prostorového rozlišení na výsledky modelů při mapování koluvizemí se věnuje Penížek et al. (2016) (Obrázek č. 1).

Obrázek č. 1: Vliv prostorového rozlišení dat na výsledky modelů



Číslice vlevo vyjadřují prostorové rozlišení v metrech. Zkratky písmen pak typ modelu (BT – boosted tree; CRT – Classification/Regression tree; NN – neural network; RF – random forest) Zdroj: Penížek et al. (2016)

2.4 Eroze půdy

Jeden z fenoménů, jež je v posledních letech mapován a modelován pomocí mnoha odlišných přístupů je eroze půdy. Je to přírodní proces, během kterého dochází (za působení vody, větru a ledu) k rozrušování zemského povrchu, transportu erodovaných částic a jejich následné depozici někde jinde. Degradální procesy (snižování terénu v důsledku eroze) a s tím spojené agradace v jiných místech vedou k planaci – tedy zarovnání zemského povrchu. To vše za přispění přírodních činitelů a stále narůstajícího vlivu člověka (Janeček et al. 2008).

Za zakladatele erodologie lze považovat Hughu Hammonda Benneta, jenž v roce 1939 napsal knihu „Soil Conservation“. Rozlišoval mezi erozí geologickou a tzv. erozí zrychlenou. Mezi přírodní faktory ovlivňující geologickou erozi patří klima, tvar reliéfu, vegetace a půda samotná. Antropogenní vliv na zrychlenou erozi je dán zejména způsobem obhospodařování půdy. Tento vliv je velice variabilní v závislosti na způsobu, jakým je půda obdělávána a zda se dodržují postupy, které by navýšování eroze měly zabránit. Nejčastějšími chybami je špatně provedená orba (po spádnici, a ne po vrstevnici), nevhodně zvolené hospodářské plodiny, nárůst plochy jednotlivých obdělávaných pozemků a rušení teras, remízků, polních cest aj. Mezi antropogenní vlivy mající dopad na erozi půdy je možné započítat i klimatické změny značně způsobené emisemi CO₂ do atmosféry. To vede jak k pomalému oteplování, tak i k častějším klimatickým extrémům a rozkolísanosti počasí. V důsledku sucha půda rozpraská a v následných intenzivních přívalových deštích je navíc eroze umocněna zvýšenou erozní účinností deště, jelikož energie padajících kapek vody je značně vyšší, než během dlouhého a mírného deště. Řetězec pokračuje odnosem půdních částic vodou, která jednak povrch rozrušila, ale kvůli suché a utužené půdě a značnému objemu vody během srážkové události není půda schopna tuto vodu pojmout a dochází k odtoku po povrchu a smyvu vrchních částí půdy – ornice. Snahou veškerých ochranných opatření by mělo být snížit vliv urychlené eroze na úroveň té geologické (Janeček et al. 2008).

Nebezpečnost eroze spočívá v odnosu nejúrodnější části půdního profilu, tj. ornice. Tím se zhoršují fyzikální a chemické vlastnosti půdy, ubývají živiny a mění se textura půdy (původně hlubší horizonty – např. písčité říční terasy – se dostávají blíže k povrchu a jsou přiorávány do svrchních částí půdního profilu). Zhoršení těchto vlastností vede nejen k degradaci půdy samotné, ale následně k menší úrodnosti a značným ekonomickým škodám. V důsledku degradace půdy a snížení úrodnosti se přikračuje k značnému využívání

hnojiv, které jsou mnohdy kvůli špatným vlastnostem půdy ve velké míře vyplaveny, nebo jinak transportovány vodou, do vodních toků, kde pak páchají další škody (Holý 1994).

2.4.1 Odhady rozsahu eroze

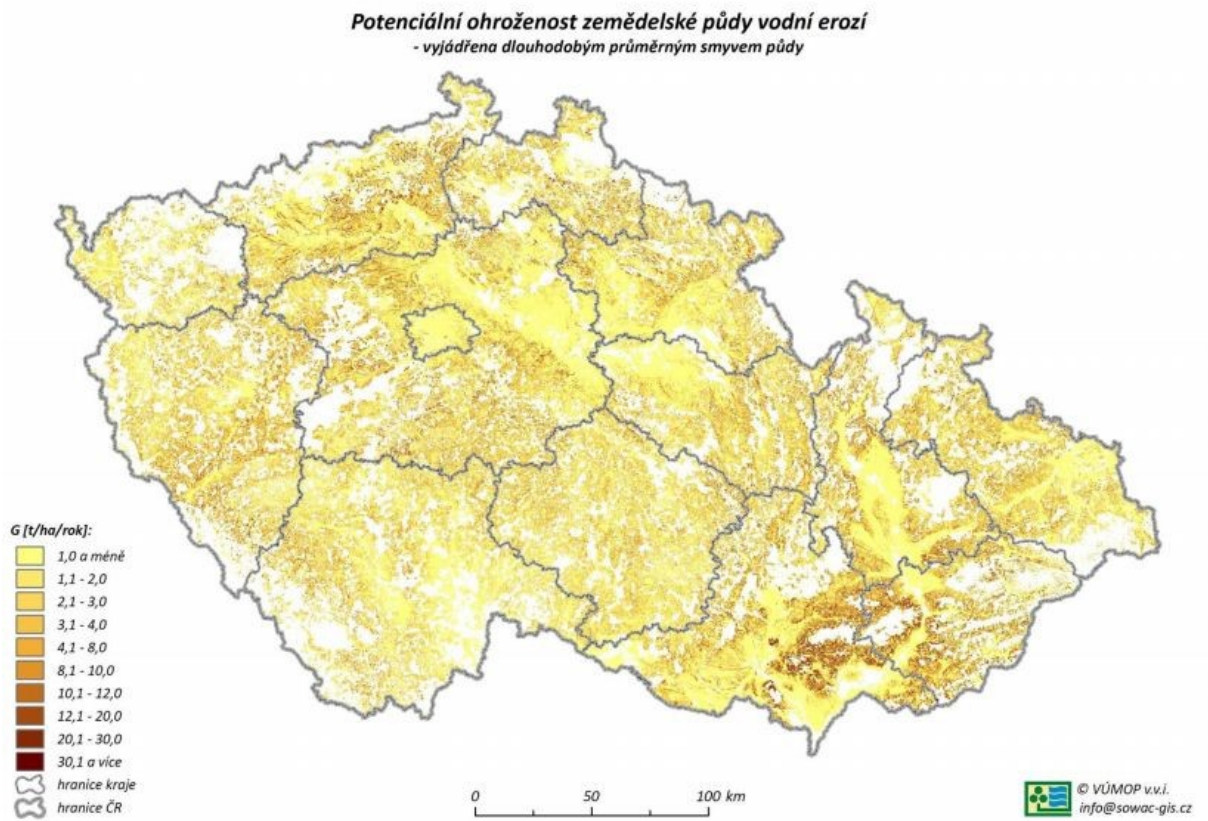
Díky přítomnosti atmosféry (větrného proudění), vody a tendenci zemského povrchu zarovnat se, zaplňuje značná masa erodované půdy reliéfové nerovnosti (deprese, dolíky) nebo končí pod úpatím svahu a vytváří více či méně mocné koluvizemě. Značná část erodovaného materiálu se však dostává do říčního systému, kde může zanášet říční koryta, přehradu, rybníky a jezera nebo se dostat až do oceánu. Odhaduje se, že celosvětové množství sedimentů odnesených do oceánu před zavedením intenzivního hospodářství bylo přibližně 10 mld. t/rok a 25 až 50 mld. t/rok nyní a bylo tak nenávratně degradováno 430 mil. ha produktivních ploch (Janeček et al. 2008). Dle Evropské agentury pro životní prostředí (European Environment Agency – EEA) je 16,5% Evropy vystaveno vodní a větrné erozi (12% (112 mil. ha) vodní erozi a 4,5% (42 mil. ha) větrné erozi). Průměrná hodnota odnosu půdy v zemích Evropské Unie je odhadována na 2,7 t/ha/rok přičemž již překročení hranice 1 t/ha/rok se považuje za škodlivé. V rámci České republiky byla celková ztráta zemědělské půdy odhadována na 9 mil. t/rok (Dostál et al. 2001). Jedná se však pouze o odhadovanou průměrnou hodnotu vztaženou na celé území ČR. Erozi nejohroženější místa, mezi které patří například členité sprašové oblasti na jižní Moravě, však tuto hodnotu překračují několikanásobně a hodnoty se tak v různých regionech mohou značně lišit. Situační a výhledová zpráva Půda 2018 od Českomoravského svazu zemědělských podnikatelů (ČMSZP) udává, že k 31. 12. 2017 je ohroženo určitou formou vodní eroze 54% a větrnou erozí 18% zemědělské půdy. Roční ztráta půdy je odhadnuta na 21 mil. tun, což je odhadnuto ekonomickou ztrátou minimálně 4,2 mld. korun (VÚMOP).

2.4.2 Modelování eroze

Snaha určit ohroženost pozemků erozí se poprvé objevuje již ve 30. a 40 letech 20. století. Tehdy se jednalo o tzv. empirické modely odvozené z dlouhodobých terénních pozorování a laboratorních experimentů. Spolu s vývojem výpočetní techniky se od poloviny 70. let se od empirických modelů začalo přecházet k analýzám složitějším, které se na erozi dívají jako na dynamický proces měnící se v čase a prostoru. V dnešní době existuje hned několik přístupů, jak erozi modelovat. Jsou jimi empirické modely Universal Soil Loss Equation (USLE) a Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) vycházející ze statistických analýz

měřených dat, konceptuální modely jako např. Soil and Water Assessment Tool (SWAT) využívající fyzikální popis jevu ve zjednodušené podobě a fyzikální modely postavené na propracovanějších fyzikálních rovnicích popisující erozní procesy jako je např. EROSION-3D (Cyrek 2016).

Obrázek č. 2: Potencionální ztráta půdy vodní erozí v ČR



Zdroj: VÚMOP. Dostupné z:

https://www.vumop.cz/sites/default/files/20130529_katalogmap_ohrozenost_vodni_erozi.pdf

2.4.3 Rovnice USLE

Univerzální rovnice ztráty půdy byla vyvinuta vědci Waltem Wischmeierem a Dwightem Smithem v roce 1965 pro americké ministerstvo zemědělství, a to na základě dat o erozi půdy, které byly měřeny již od roku 1930 (Wischmeier et al. 1978). Výsledkem rovnice je průměrná roční ztráta půdy v tunách na hektar za rok [$t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$]. Tato rovnice a později aktualizovaná verze RUSLE (Renard et al. 1993) (rovnice 3), jsou v dnešní době velmi používané modely, na které vzniká mnoho vědeckých prací, zejména ve spojení s GIS pro výpočty ztráty půdy

na velkých územích, často v celých povodích (Fayas et al. 2019). Neustále se zdokonalují výpočty jednotlivých faktorů rovnice (Martínez-Murillo et al. 2020; Bircher et al. 2019) a porovnávají výsledky jednotlivých modelů mezi sebou (Vysloužilová a Kliment 2012; Feng et al. 2016). Nevýhodou tohoto modelu je značná generalizace a zprůměrovaná dlouhodobá hodnota výstupu, jenž neodpovídá přesně nahodilosti erozních procesů. Pro výpočty ztráty půdy po jednotlivých srážkových událostech je třeba využít jiných nástrojů, jako například Model Erosion 3D. Přesnost výpočtu USLE / RUSLE velmi záleží na kvalitě vstupních dat – DMR, půdní mapy, mapy vegetačního krytu, přesnosti faktoru R a účinnosti půdoochranných opatření (Kadlec et al. 2014).

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (3)$$

Rovnice modelu RUSLE.

<i>A</i>	<i>Průměrná roční ztráta půdy [t · ha⁻¹ · rok⁻¹]</i>
<i>R</i>	<i>Faktor erozní účinnosti deště, definovaný jako součin kinetické energie deště a jeho největší třicetiminutové intenzity R=E·i₃₀ [MJ · ha⁻¹ · cm · h⁻¹]</i>
<i>K</i>	<i>Faktor erodovatelnosti půdy, vyjadřující náchylnost půdy k erozi ve vztahu k půdní struktuře, propustnosti aj. [t · h · MJ⁻¹ · cm⁻¹]</i>
<i>L</i>	<i>Faktor délky svahu zohledňující vliv nepřerušené délky svahu na výsledné ztrátě půdy. Popisuje poměr ztráty půdy na zkoumaném pozemku oproti ztrátě půdy z cvičného pozemku o délce 22,13 m.</i>
<i>S</i>	<i>Faktor sklonu svahu. Popisuje poměr ztráty půdy na zkoumaném pozemku oproti ztrátě půdy z cvičného pozemku se sklonem 9 %.</i>
<i>LS</i>	<i>Často nazýván jako „topografický faktor“, lze vyjádřit kombinovaným vzorcem (Lu et al. 2020).</i>
<i>C</i>	<i>Faktor ochranného vlivu vegetace. Variabilita faktoru je jak v rámci jednotlivých plodin, tak v rámci roku u jedné plodiny.</i>
<i>P</i>	<i>Faktor protierozních opatření.</i>

V této práci je použit pro hodnocení vlivu reliéfu na výslednou půdní mozaiku výpočet LS faktoru z rovnice USLE. Existuje mnoho způsobů, jak tento faktor vypočítat. Mitášová et al. 1996 stanovila rovnice pro výpočet LS faktoru pro plošnou i rýhovou erozi. Lze použít nadstavbu do ArcGisu USLE2D, kde se nabízejí dvě možnosti výpočtu – dle McCoola (1989) či Desmeta a Goverse (1996). Dalším programem je ATLAS DMT, jenž využívá kombinace rovnic Mitášové (1996), Desmeta a Goverse (1996) a Nearinga (1997). Výpočty LS faktoru se zabývali i tvůrci samotné rovnice USLE Wischmeier a Smith (1978) jenž stanovili rovnice pro svahové a liniové délky. Pro tuto práci byl vybrán výpočet dle Mitášové et al. 1996 pro plošnou erozi.

2.5 Polygonální síť

Polygonální síť viditelná na mnoha místech České republiky, kdy některé z nich jsou zkoumané v této práci, jsou pozůstatkem pleistocenního rozšíření permafrostu na našem území. Vyvinuly se v důsledku přítomnosti mrazových a ledových klínů. Jejich existence je přímo podmíněna výskytem permafrostu. Existence permafrostu však nezaručuje vznik ledových a mrazových klínů (Czudek 2005).

2.5.1 Permafrost

Věčně zmrzlá půda, jinak označovaná jako permafrost, je svrchní část litosféry, jejíž teplota je alespoň po dobu dvou let menší než 0 °C (Goudie 2004). Summerfield (1991) poukazuje na to, že teplotní hranici nemusí být přímo 0 °C, ale teplota i o pár desetin stupně nižší, a to z důvodu působení tlaku nebo přítomnosti solí / solných roztoků pocházejících z přítomných sedimentů. Jak solné roztoky, tak působení tlaku posouvá hranici mrznutí vody do záporných čísel. Lze se setkat i s pojmem tzv. „suchého permafrostu“ tj. permafrost, který tvoří pouze zmrzlá hornina a přítomnost vody či ledu je zde minimální. S takovýmto permafrostem se lze setkat zejména v literatuře týkající se Antarktidy (French 2007). Dále se permafrost může dělit na souvislý (souvisle zabírá více než 80% plochy), nesouvislý (pokrývající 30 – 80% plochy) a sporadický či ostrovní (zabírá méně než 30% plochy) (Demek 1989).

2.5.2 Rozšíření permafrostu na území ČR

V dnešní době je permafrost v Evropě mapován zejména ve vysokých zeměpisných šířkách nebo vysokých nadmořských výškách (Obu et al. 2019). Na území České republiky se permafrost významněji vyskytoval během chladných období pleistocénu (2,588 mil. let až 10,3 tis. let před současností (Chlupáč et al. 2002)). Nejvíce informací ohledně jeho plošného rozšíření a mocnostech v jednotlivých lokalitách máme ze svrchního pleistocénu (126 tis. let až 10,3 tis. let před současností). Geologické a geofyzikální poznatky spolu s paleoklimatickými úvahami stanovují teoretickou mocnost permafrostu na našem území v rozmezí 50 (na jižní Moravě) až 250 m (v horských oblastech). Průměrná hloubka permafrostu na našem území se tak pohybovala zřejmě okolo 100 m (Czudek 1986). Tyto úvahy a výpočty prokázali Růžičková a Zeman (1992) v lokalitě Blahutovic v Moravské Bráně. Našli zde v sedimentech znaky značící přítomnost permafrostu v hloubce 220 m. Některé odhady se však liší a Demek 1989 odhaduje mocnost pleistocenního permafrostu v Moravském krasu až na 300 m. Odhaduje se, že v místech s největšími mocnostmi se mohl dochovat tzv. reliktní permafrost až do spodního holocénu. V nejvyšších plochách (Krkonoše, Hrubý Jeseník aj.) se v určitých lokalitách přivětivých na přítomnost permafrostu mohl permafrost udržet až do období začátku Atlantiku (8 tis. let před současností). Výsledky výzkumu Merciera et al. (2002) ukazují, že v horních částech Krkonošských karů se permafrost spolu s firnovými poli vyskytoval ještě před třemi až čtyřmi tisíci lety.

2.5.3 Mrazové klíny

Mrazové klíny jsou důsledkem mrazového pukání v teplotně nestabilní činné vrstvě permafrostu (Lachenbruch 1966). Dochází k tomu během chladných měsíců, kdy nastane prudký pokles teploty vzduchu a vznikne tak značný teplotní rozdíl mezi půdou a vzduchem (Allard a Kasper 1998). Teplotní gradient zvyšuje napětí v činné vrstvě a při překročení prahu plasticity činné vrstvy dochází k mrazovému pukání (Lachenbruch 1962). To má za následek rozevírání mrazových (kontrakčních) trhlin (puklin) na povrchu (Czudek 2005). Eolická činnost pak tyto trhliny zanášá (sněhem / klastickým materiálem). Tyto trhliny jsou pak v důsledku regelačních cyklů a roztažnosti vody zvětšovány (French 2007). Nejsnáze se mrazové klíny vyvíjejí v nekonsolidovaných jemnozrnných sedimentech v rovinném terénu s maximálním sklonem do 5°. Nejvíce příznivé jsou špatně odvodněné plochy souvislého permafrostu s mírnými depresiemi v pásu tunder. Klimaticky příznivější

prostředí se nachází ve vysokohorských oblastech. Zde jsou však mrazové klíny spíše vzácností kvůli prudkým svahům a geologickému podloží (Czudek 2005).

Mrazové klíny se dají klasifikovat dle různých přístupů. Podle posloupnosti vzniku výplně na primární a sekundární struktury. Primární struktury jsou vyplněny původní výplní, tzn. vodou a posléze ledem. Tato voda s sebou přináší i další látky jako minerální částice, organickou hmotu a vzduch. Sekundární výplň je ta, která klínové struktury zaplní až po roztátí ledu (Murton 2007).

Hyatt (1990) klasifikuje mrazové klíny dle hloubky na hluboké a mělké. Hluboké klíny procházejí celou činnou vrstvou až do permafrostu, zatímco mělké klíny leží celé pouze v činné vrstvě.

Dále je možné klasifikovat mrazové klíny dle druhu výplně. Rozlišujeme ledové, zemní a složené klíny. Ledový klín je vyplněn podzemním ledem s drobnou příměsí klastických částic s vertikální laminací. Zemní klín je namísto vodou vyplněn zeminou, jež je svým složením rozdílná od nejbližšího okolí. Složené klíny jsou vyplněny kombinací dvou výše zmíněných výplní, tj. ledem a cizorodou zeminou. To může být způsobeno jak změnou přírodních podmínek během vývoje dané klínové struktury, nebo může vzniknout tzv. vložený klín, kdy se mladší mrazový klín vyvíjí ve starším mrazovém klínu, a to s odlišnou výplní, než obsahuje klín starší (Czudek 2005).

Péwé (1975) dělí mrazové klíny na základě aktivity mrazového pukání na klíny aktivní, neaktivní a reliktní. Aby byl klín aktivní, musí v něm alespoň v průběhu několika let docházet k objemovým změnám a růstu. V neaktivních klínech tyto změny již neprobíhají, a tudíž se nezvětšují ale ani nezmenšují. Pseudomorfózy po ledových klínech, jak by se daly reliktní klíny nazvat, jsou takové klíny, ve kterých zmizela primární výplň (led) a byla nahrazena sedimentem.

2.5.4 Pseudomorfózy mrazových klínů na území ČR

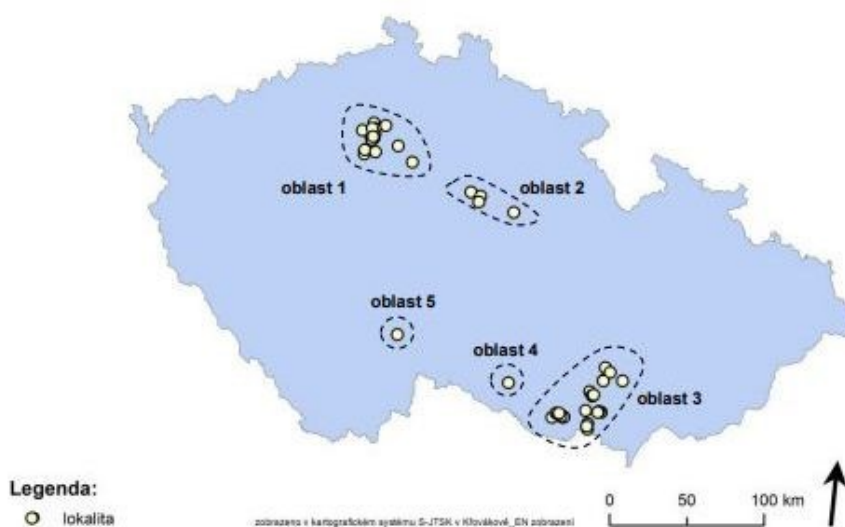
Vohradský (2013) se ve své práci zabývá vymezení rozšíření pseudomorfóz ledových a mrazových klínů a následně hodnotí jejich morfologii ve vztahu k jejich rozmístění v rámci ČR (Obrázek č. 3). Bylo vymezeno celkem 5 lokalit a to:

- Dolnooharská a Středolabská tabule
- Východolabská tabule a západ Svitavské pahorkatiny

- Dyjsko-svratecký a Dolnomoravský úval
- jihozápad Jevišovické pahorkatiny
- Českobudějovická pánev

První tři zmíněné lokality obsahují 4 až 24 mapovaných pseudomorfóz, poslední dvě obsahují shodně po jedné (Obrázek č. 3). Lokality se nacházejí na rovinatých plochách, většinou říčních terasách, dnes využívaných jako zemědělské pozemky s ornou půdou. Substrát je tvořen spraší, sprašovými hlínami, pískem, štěrkem a výjimečně slínovci. Půdní typy v daných lokalitách zastupují černozemě modální, arenické a luvické, černice, kambizem, regozem, pararendziny a pseudoglej. Tyto sítě jsou vidět z leteckých snímků, a to díky odlišnosti výplně vůči okolnímu substrátu, od toho se odvíjející rozdílná zrnitost, obsah organické hmoty a rozdíly ve stádiu vegetace, kde jsou pozorovatelná místa s menší úživností a horším stavem rostlin. Viditelnost mozaik zkoumaných v této práci závisí na mnoha proměnných. Na druhu a stádiu vegetace (tudíž i na roční době), obsahu organické hmoty ve svrchní části půdy, odlišnosti substrátu, hloubce půdy a půdní vlhkosti. „Viditelnost těchto polygonálních sítí však závisí i na světelných podmínkách a úhlu pořízení snímku. Špatná viditelnost nastává při pořizování snímků kolmo k povrchu a v protisměru jdoucím slunečním paprskům vůči pozorovateli pod úhlem 45°. Nejlepší viditelnost nastává na snímcích pořízených pod úhlem 45° (z výšky asi 300 m nad povrchem) a dopadem slunečních paprsků pod úhlem 45° do zad pozorovatele“ (Gojda 2004, cit. v Vohradský 2013, str. 45).

Obrázek č. 3: Mapa rozmístění mrazových klínů v práci Vohradský (2013).



Zdroj: Vohradský (2013).

2.6 Fraktální geometrie

2.6.1 Fraktál

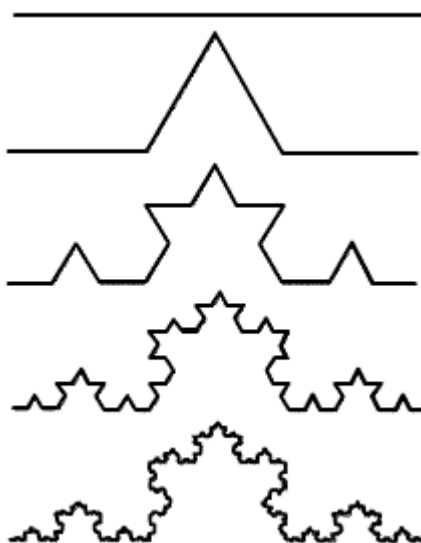
Fraktál lze popsat jako nekonečně členitý útvar, který byl poprvé matematicky popsán polským vědcem a držitelem Nobelovy ceny za fyziku Benoitem B. Mandelbrotem, jenž je považován za otce fraktální geometrie. Slovo fraktál pochází z latinského slova fractus (zlomený). Dle Mandelbrotovy definice je fraktál množina, jejíž Hausdorffova dimenze (též nazývaná jako fraktální dimenze) je větší než dimenze topologická (Mandelbrot 2003). Topologická dimenze je přirozené číslo, kterým popisujeme dimenzi n -rozměrného prostoru (topologická dimenze křivky je 1, dimenze roviny je 2 atd.). Hausdorffova dimenze je neceločíselné číslo, které udává členitost objektu. Lze si ji představit jako postupně stále se zakřivující křivku, jejíž délka roste do nekonečna. Na rozdíl od hladké křivky, která by měla dimenzi 1, tato křivka zabírá v prostoru stále více místa. Nepokrývá však prostor celý. Dimenze této křivky je tedy menší než 2 ale větší než 1. Je tedy neceločíselná (Tišnovský 1999).

V literatuře se však můžeme setkat s mnoha odlišnými definicemi, které se dívají na danou problematiku z různých úhlů. Denny (1992) fraktály popisuje pomocí kapacitní dimenze (capacity dimension). Tišnovský (2005) a Hotař (2008) popisují fraktály jako nekonečně členité útvary. Eglash (1999) a Zelinka a kol. (2006) popisují fraktály jako geometrické motivy, jenž se opakují ve vlastním mateřském těle.

2.6.2 Výskyt fraktálů

I přes to, že problematika fraktálů byla poprvé matematicky popsána až ve 20. století, byly fraktální útvary známy již dlouho dobu. Opakující se útvary byly využívány jak mezi umělci v uměleckých dílech, tak mezi architekty, kteří fraktály využívaly k dekoraci svých staveb. Taktéž na vědecké úrovni byly známy útvary jako Kochova křivka, která, leč se jedná o souvislou křivku, postrádá jakoukoli derivaci (Obrázek č. 4) a další matematické (občas bizarní) výtvořiny. Fraktály však nejsou pouze výtvořinou člověka. Člověk se pouze nechal inspirovat přírodou, ve které se fraktálních útvarů vyskytuje nespočet. Jako příklady lze uvést tvary oblaků, blesků, plamenů ohně, kořenová stavba rostlin, tvary listů a květů. Fraktály se vyskytují i uvnitř živých organismů ve formě dýchacího systému, cévní a nervové soustavy, nebo DNA. Na rozdíl od matematicky vytvořených fraktálních útvarů, přírodní fraktály nikdy nejdou do nekonečna.

Obrázek č. 4: Kochova křivka.



Zdroj: <http://www.geneze.info/pojmy/subdir/krivky.htm>

2.6.3 Využití fraktálů

Využití fraktálů resp. fraktální geometrie (věda zabývající se fraktály) je velmi široké. Od umění a designu různých šperků a doplňků, například i starších civilizací (Eglash, 1999; Heiník, 2007), přes medicínu a zkoumání DNA (Nedvěd, 2010), až po moderní využití sledování chování burzy nebo internetové sítě (Batty a Longley, 1994) a vědecké výzkumy s různým zaměřením (Barnsley, 1993).

Vzhledem k velkému množství fraktálních útvarů kolem nás, je logické, že své uplatnění fraktální geometrie nachází i v přírodovědných odvětvích, geografii nevyjímaje. Jednotlivými disciplínami jsou například meteorologie (Jiang 2016), geomorfologie (Shen 2011; Hu 2020), hydrologie (Molz 2006) a pedologie.

V rámci pedologie byla fraktální geometrie použita například ke zkoumání utužení půd pod náparem těžké techniky (Pérez 2010) a následné změny obsahu uhlíku a dusíku v půdě (Yadav 2019). Ke zkoumání fyzikálních vlastností půd v oblastech zasažených těžbou uhlí (Jing 2020). Půdními vlastnostmi, konkrétně velikostí a tvarem půdních agregátů se zabývají práce Liu (2009), Guber (2005) a Montero (2005). Caniego (2005) využívá multifraktální analýzu k charakteristice půdních vlastností jako je konduktivita, obsah organických látek,

pH či hloubka Bt horizontu. V neposlední řadě byly analýzy spojené s fraktální geometrií spojeny i s plošným rozmístěním půd v Evropě (Ibáñez 2009).

Výše zmíněné práce využívají pro své analýzy především různé druhy dimenzí. K účelům této práce bude využita tzv. mřížková dimenze (Box-counting). Dále pak specializované programy pro výpočet těchto metrik, které jsou důkladně popsány v práci Čepové (2012), jenž se zabývá softwarovými možnostmi výpočtu fraktální dimenze geografických jevů.

3. Metodika

3.1. Použitá data

Výběr míst proběhl pomocí webového portálu <https://www.mapy.cz>, kde jsou dostupné snímky z leteckého snímkování České republiky z let 2001 – 2003, 2006 – 2007, 2011 – 2012, 2015 a 2016 – 2017, dále pak archivních ortofot ČÚZK, které jsou v závislosti na daném území dostupné od roku 1998 až do roku 2019, dostupné z <https://www.lms.cuzk.cz>. Vhodné je i využití Google map dostupných z <https://www.maps.google.cz>. Velké množství leteckých snímků je vhodné proto, že ne na každém snímku je mozaika viditelná (Obrázek č. 5, 6 a 7). Viditelnost mozaiky je závislá na době v rámci roku, pěstovaných plodinách i na klimatických podmínkách. Poslední zmiňovaný faktor je nejzásadnější, jelikož naprostá většina mozaik, ne-li všechny, závisí na půdní vlhkosti, resp. schopnosti půdy zadržet vodu, což je určeno jak samotným půdním typem, tak půdní texturou a hloubkou půdy. Případem, kdy je mozaika na leteckém snímku závislá na jiném faktoru, jsou erozí degradovaná místa, kde je málo mocný nebo již žádný humusový horizont, je zde snížený počet mikroorganismů a objem organické hmoty a taková místa se na leteckém snímku projeví v rozdílu pokryvu vegetací, kdy na rozdíl od okolí zůstanou nezakryta nebo je pokryvnost pěstovanou rostlinou výrazně nižší. Tento indikátor je nejvhodnějším poznávacím znakem (nebereme-li v potaz samotné provedení pedologické sondy) při terénním průzkumu, kdy nemáme k dispozici náhled shora. Rozdíl ve výšce plodin může dosahovat i pár desítek centimetrů, a to na poměrně malé vzdálenosti (Obrázek č. 8 a 9).

Obrázek č. 5: Viditelnost mozaiky výrazná. Lokalita u obce Kleneč.



Datum pořízení snímku 22.5. 2016. Zdroj: <https://www.mapy.cz>

Obrázek č. 6: Viditelnost mozaiky malá. Lokalita u obce Kleneč.



Datum pořízení snímku mezi lety 2004 – 2006. Bližší datum neznámé. Zdroj: <https://www.mapy.cz>

Obrázek č. 7: Viditelnost mozaiky nulová. Lokalita u obce Kleneč.



Datum pořízení snímku 21.4. 2015. Zdroj: <https://www.mapy.cz>

Obrázek č. 8: Znázornění stavu vegetace v hlubokých profilech.



Zdroj: Foto vlastní.

Obrázek č. 9: Znázornění stavu vegetace v mělkých profilech na tomtéž poli.



Zdroj: Foto vlastní.

Pro zkoumání různých druhů mozaikovitých útvarů bylo vybráno celkem 50 míst v České republice. Tyto místa se nacházejí v České tabuli – Severočeská a Středočeská tabule (19 míst), v Česko-moravské subprovincii – Českomoravská vrchovina (12 míst), v Krkonošsko-jesenické subprovincii – Jesenická oblast (2 místa), ve Vnějších Západních Karpatech (14 míst) a ve Vněkarpatské sníženině – Západní Vněkarpatské sníženině (2 místa) (Obrázek č. 10). Tyto lokality nebyly vybrány pomocí žádného algoritmu, ale subjektivně dle vlastního uvážení a zřetelnosti dané mozaiky na leteckých snímcích, dále pak dle přítomného půdního typu. Byla snaha postihnout jak tvarově odlišné mozaiky, tak i odlišnost substrátů, aby se dala potvrdit nebo vyvrátit vzájemná souvislost.

Tabulka č. 4: Vybrané lokality.

ID	Název	Ozn.	Souřadnice		Půdní typ	Hloubka	Skelet.
1	Benátky	1	50,28078	14,72348	6 / 4	1 / 2	1 / 3
2	Hradčany	1	50,62238	14,69715	8	2	2
3	Klenceč	1	50,39612	14,25985	1 / 5	2 / 1	2 / 1
4		2	50,40405	14,27064	1 / 5	2 / 1	2 / 4
5		3	50,40559	14,24425	5 / 9	1 / 2	3 / 2
6		4	50,40928	14,24919	9 / 10	2 / 1	2 / 1
7		5	50,41421	14,19998	1 / 9	2 / 1	2 / 4

8		6	50,38618	14,20616	5 / 9	2 / 1	2 / 4
9		7	50,37895	14,18614	9 / 10	3 / 2	4 / 2
10		8	50,43187	14,11548	1	1	1
11		9	50,42741	14,17524	1	1	1
12	Kotlasy	1	49,49504	15,96151	4 / 7	2 / 3	2 / 1
13		2	49,49786	15,99637	7 / 4	1 / 2	1 / 2
14		3	49,51677	16,00407	4 / 11	2	4 / 2
15	Krpy	1	50,33333	14,66675	6 / 4	2 / 1	2 / 1
16		2	50,33479	14,69627	2 / 6	1	1
17		3	50,31633	14,70946	2 / 9	2 / 1	1 / 2
18		4	50,32584	14,75163	6 / 2	1 / 2	1 / 2
19		5	50,31804	14,80923	2 / 9	1 / 2	1 / 2
20	Lužice	1	49,71260	17,26859	4 / 5	1 / 2	1 / 4
21		2	49,74526	17,13772	3 / 8	1 / 2	1 / 2
22	Lysá	1	50,17077	14,82880	3	1	1
23		2	50,17100	14,83808	5 / 3	1	1 / 2
24		3	50,17925	14,87437	3 / 5	1	1
25	Milotice	1	48,94064	17,10409	1	2 / 1	1 / 2
26		2	48,91795	17,11679	1 / 5	1 / 2	1 / 2
27	Račice	1	49,49033	16,14370	4 / 8	2 / 1	1 / 2
28		2	49,46097	16,15350	4 / 7	2 / 1	2 / 4
29		3	49,53344	16,12700	4 / 11	2	4 / 2
30		4	50,54475	14,43920	4 / 8	2	3 / 4
31	Robeč	1	49,44981	16,20321	2 / 4	2 / 1	2 / 1
32	Šardice	1	48,95341	17,02400	1	1 / 2	1
33		2	48,94307	17,02321	5 / 1	1 / 2	1 / 2
34		3	48,94708	17,00787	5 / 12	1 / 2	1 / 3
35		4	48,96569	17,00763	1 / 12	1 / 2	1 / 2
36		5	48,97482	17,02007	1	1	1
37		6	48,97771	17,05516	1 / 9	1 / 2	1 / 2
38		7	48,99565	16,97901	1 / 9	1 / 2	1 / 2
39		8	48,98880	16,89890	1	1	1
40	Štěpánovice	1	49,11142	15,89184	2 / 4	1 / 2	1 / 2
41		2	49,13217	15,86803	4 / 8	2	2 / 4
42		3	49,13220	15,84206	8 / 7	2 / 1	2 / 1
43		4	49,13677	15,95580	4 / 7	2 / 1	2 / 4
44		5	49,13226	15,97277	4 / 7	2	2 / 4
45	Šumperk	1	49,92370	16,91754	5 / 3	1	3 / 1
46		2	49,92252	16,93872	3 / 5	1	1 / 3
47	Těmice	1	48,99710	17,24598	1	1 / 2	1 / 2
48		2	48,99759	17,22292	1 / 12	1 / 2	1 / 2
49		3	48,99003	17,26441	1 / 3	1 / 2	1 / 2
50		4	49,01847	17,22282	1 / 4	1 / 2	1 / 2

Lokality jsou pojmenovány dle názvu obcí, které se nacházejí v jejich blízkosti. Souřadnice pak náleží středu pozemku. Sloupec 3 obsahuje další dělení v rámci jedné lokality. Sloupce 7, 8 a 9 obsahují číslce označující půdní typ, hloubku půdy a skeletovitost půdy. Význam daných číslcí je popsán v následující tabulce. Číslce před lomítkem zastupuje proměnou, jež pokrývá většinu dané lokality, číslce za lomítkem proměnou objevující se v menším rozsahu.

Tabulka č. 5: Půdní typy.

Půdní typ	Černozem	Hnědozem	Fluvizem	Kambizem	Regozem	Luvizem	Pseudoglej	Glej	Rendzina	Pararendzina	Podzol	Silně svažitě půdy
Kód	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Dodatková tabulka k Tabulce č. 4

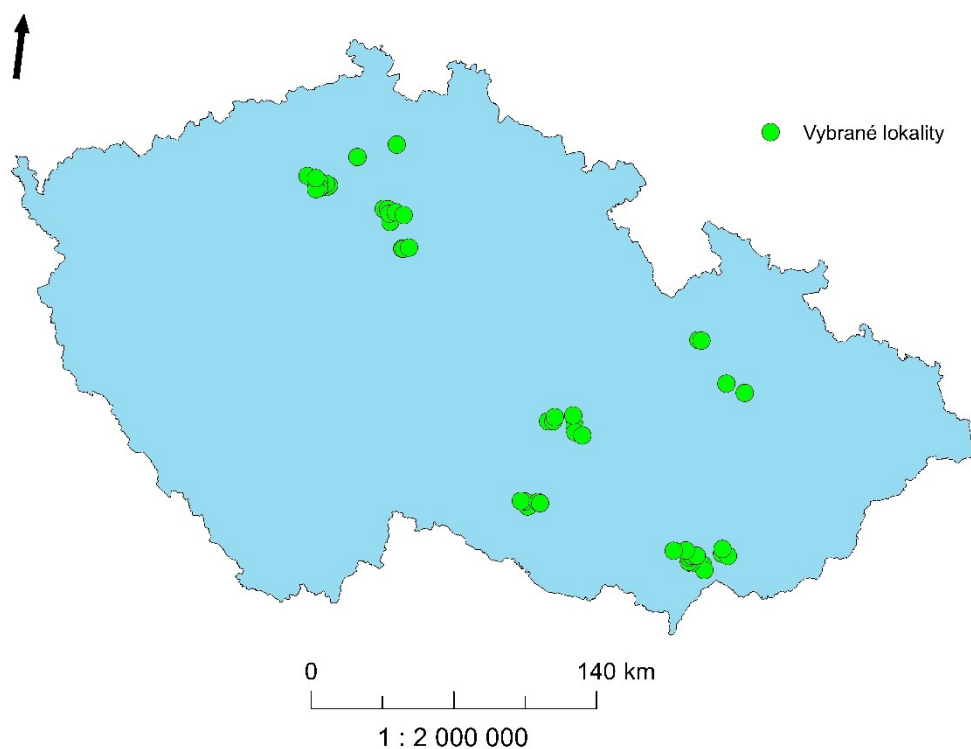
Tabulka č. 6: Hloubka a skeletovitost půdy.

Hloubka	Kód	Skeletovitost	Kód
Hluboká	1	Bez skeletu	1
Hluboká až středně hluboká	2	Bez skeletu až slabě skeletovitá	2
		Slabě skeletovitá	3
Mělká	3	Středně skeletovitá	4

Dodatková tabulka k Tabulce č. 4

Obrázek č. 10: Mapa vybraných lokalit.

LOKALITY VYBRANÝCH MÍST

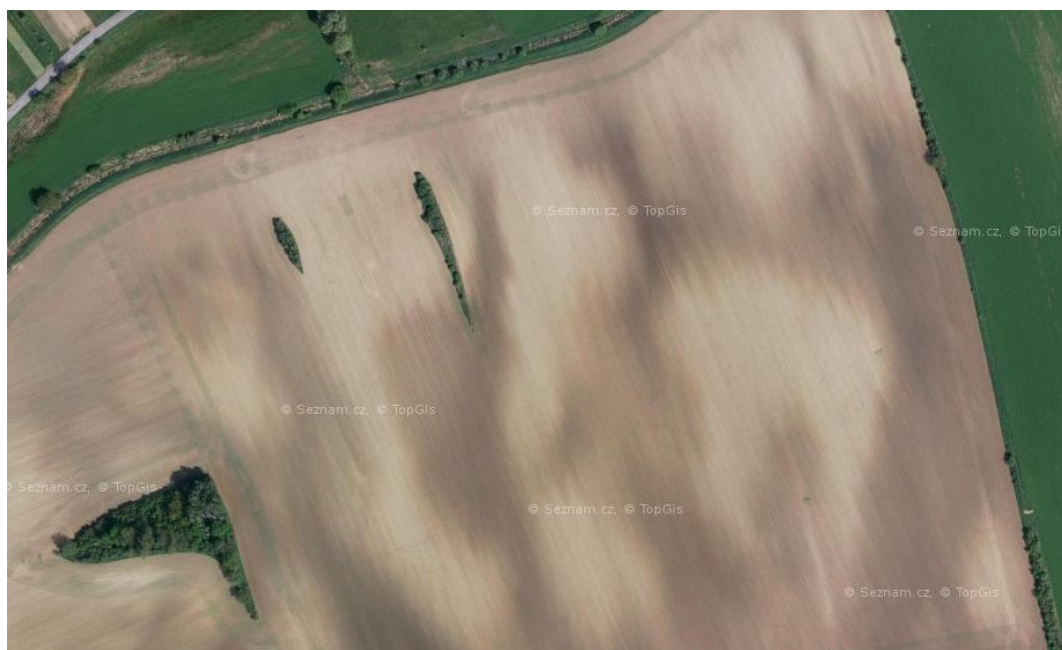


Analýza leteckých snímků probíhala primárně v programu ArcGIS 10.7. Snímky vybraných lokalit byly z webových portálů zkopírovány formou screenshotu a následně v programu IrfanView 4.52 oříznuty a ve formátu .jpg uloženy. Následně byly všechny snímky ortorektifikovány do souřadnicového systému S-JTSK Krovak EastNorth. Ortorektifikace byla provedena nad ortofoto mapou dostupnou formou online WMS služby umístěné na portálu ČÚZK. Pro další analýzy byly do vytvořeného projektu obsahujícího ortorektifikované snímky přidány mapy půdních typů, skeletovitosti, hloubky půdy a místa kde byly provedeny půdní sondy během KPP. Tyto mapy byly pořízeny z webového portálu KPP spravovaného VÚMOPem. Obdobně jako letecké snímky byly získány formou screenshotu, úpravou v programu IrfanView 4.52 a následně byly ortorektifikovány tak, aby přesně lícovaly s leteckými snímky. Dále do projektu byla přidána image služba ČÚZK zobrazující DMR 5G.

3.2 Práce s datovými vrstvami

Byly vytvořeny shapefilové vrstvy obsahující polygony vybraných polí, kterými byly letecké snímky, funkcí Extract by mask, oříznuty. Tyto rastrové oříznuté vrstvy byly následně zobrazeny pouze v odstínech šedi a na stupnici 0 až 255 a funkcí Raster to polygon převedeny z rastrového formátu do shapefilu. Následně byl v atributové tabulce vytvořen nový sloupec s názvem kategorie obsahující pouze dvě možné hodnoty (0 a 1). Tyto hodnoty byly jednotlivým buňkám přiřazeny na základě hodnoty odstínu šedi tak, aby pixely s hodnotou 1 reprezentovaly mozaiku na daném území a pixely s hodnotou 0 zbytek pole. Hranice na stupnici 0 až 255 byla určena bez použití jakéhokoli softwaru tak, aby co nejvíce reprezentovala danou mozaiku na příslušném leteckém snímku. Při vyšším počtu zkoumaných lokalit by bylo efektivnější celou tuto část provést v programech, které umožňují obraz rozklasifikovat na základě řízené nebo neřízené klasifikace. Například eCognition Developer nebo PCI Geomatica Focus. Výstupem byly černobíle vyobrazené mozaiky v různých měřítcích (od 1 : 2 000 do 1 : 5 500) v závislosti na velikosti zkoumané plochy (Obrázek č. 11 a 12). Pro další zpracování byly tyto mozaiky vyexportovány do formátu .bmp jenž vyžaduje program ImageJ.

Obrázek č. 11: Vybraná mozaika na leteckém snímku u obce Těmice.



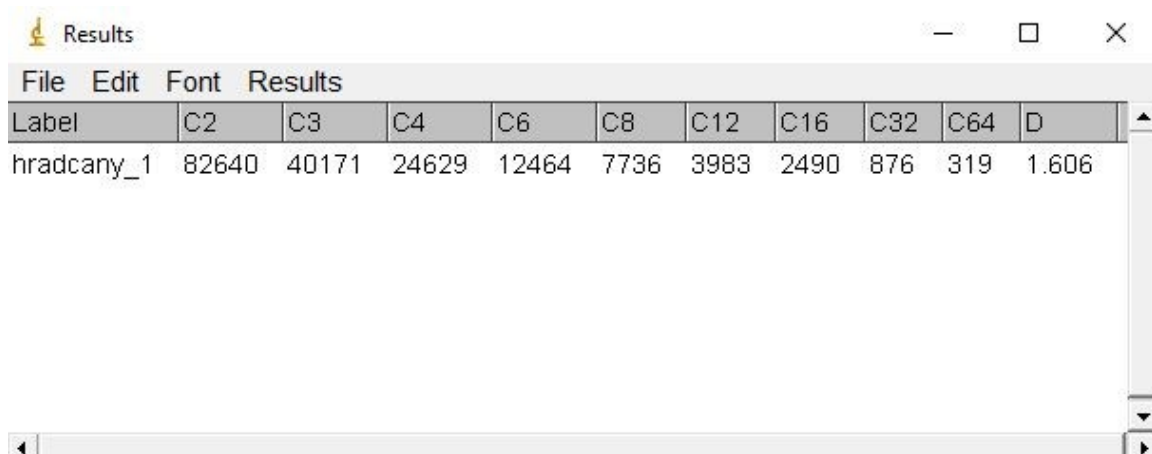
Zdroj: <https://www.mapy.cz>

Obrázek č. 12: Příklad zobrazení půdní mozaiky na vybrané lokalitě.



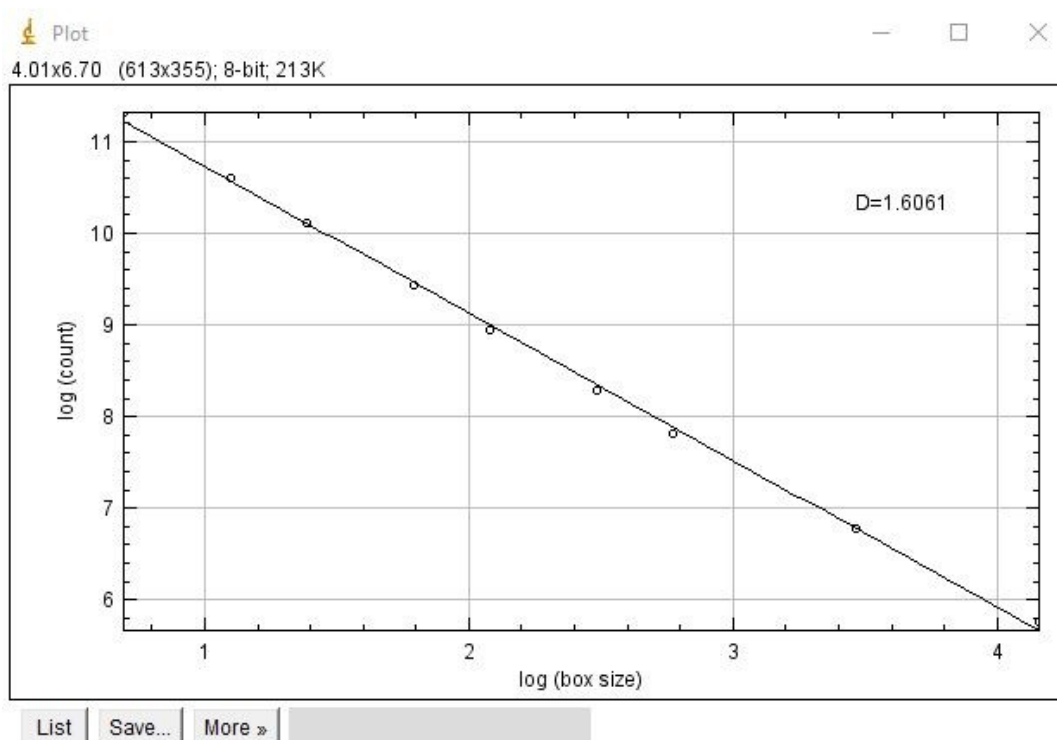
ImageJ je volně dostupný software pro zpracování a analýzu obrazu. Pomocí tohoto programu byla na základě vstupních dat (černobílá mozaika) vypočtena fraktální dimenze D metodou tzv. mřížkové dimenze (v anglické literatuře nazývaná jako Box-Counting Dimension). Výpočet je stanoven tak, že zkoumaný obraz je pokryt mřížkou určité velikosti. V každém běhu výpočtu, se spočítá množství buněk / okének mřížky, které obsahují zkoumaný vzor. V dalším běhu se mřížka vytvoří hustější a výpočet probíhá znovu. S odlišným měřítkem mřížky je odlišný i výsledný počet buněk obsahujících daný vzor. Výsledné hodnoty jsou vyneseny do log-log grafu, kde na ose x je $\log(1/s)$ a na ose y je $\log(N(s))$, kde s je velikost strany jednoho čtverce mřížky a $N(s)$ počet čtverců mřížky, které obsahují zkoumaný vzor (Ibáñez et al. 2009). Body jsou následně v grafu proloženy přímkou a směrnice této přímky udává mřížkovou dimenzi. V programu ImageJ je tato metoda umístěna v záložce Analyze – Tools – Fractal Box-Count... Před spuštěním tohoto výpočtu je třeba nejdříve vstupní data převést na 8-bitový typ obrázku. To lze provést v záložce Image – Type – 8bit. Po spuštění funkce Fractal Box-Counting se objeví okno s názvem Fractal Box-Counter, kde se nastavuje počet opakování výpočtu, resp. velikost okna v jednotlivých bězích. Tyto hodnoty byly ponechány v přednastaveném stavu tedy 9 běhů výpočtu s velikostí buněk 2, 3, 4, 6, 8, 12, 16, 32 a 64. Pole Black Background zůstalo nezaškrtnuto. Výstupem výpočtu je tabulka obsahující název zkoumaného souboru, počet čtverců obsahujících zkoumanou mozaiku v jednotlivých krocích a vypočtenou fraktální dimenzi D (Obrázek č. 13). Druhým výstupem je log-log graf znázorňující výsledné hodnoty proložené přímkou a vypočtenou fraktální dimenzi D (Obrázek č. 14).

Obrázek č. 13: Tabulkový výstup z programu ImageJ.



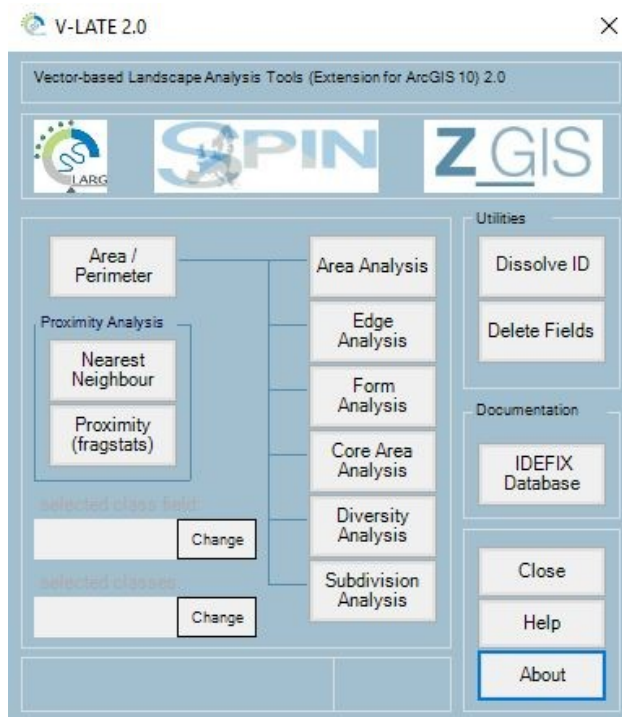
File	Edit	Font	Results							
Label	C2	C3	C4	C6	C8	C12	C16	C32	C64	D
hradcany_1	82640	40171	24629	12464	7736	3983	2490	876	319	1.606

Obrázek č. 14: Grafový výstup z programu ImageJ.

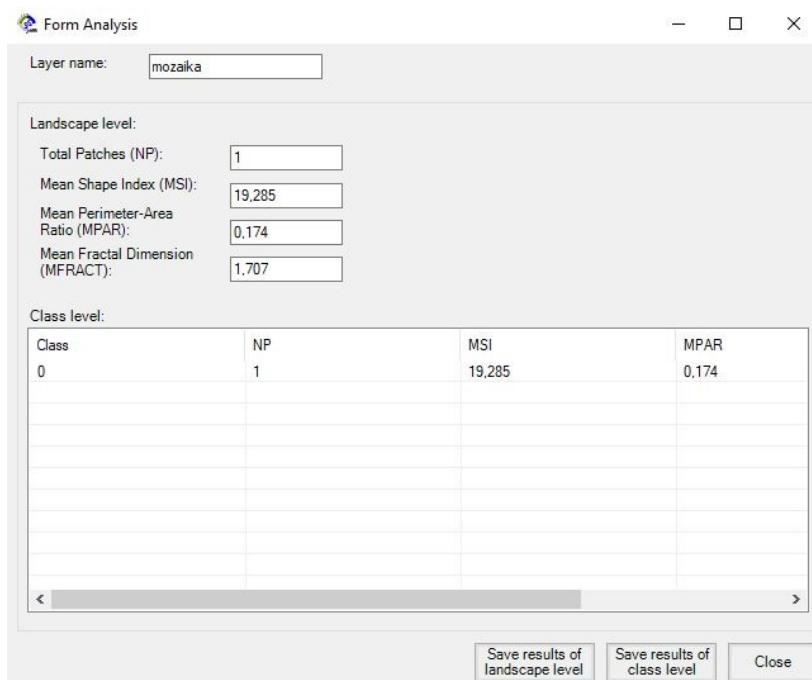


Fraktální dimenze byla pro srovnání vypočtena také rozšířením V-LATE (Vector-based Landscape Analysis Tool Extension) v programu ArcGIS. Tato extenze je volně dostupná ke stažení. Po stažení je nutné v programu ArcMap tuto extenzi přidat. Jedna z cest, jak to udělat je spustit program ArcMap jako administrátor, skrze záložku Customize – Customize Mode..., v otevřeném okně vybereme záložku Commands a Add from file..., nastavíme cestu k souboru “V-LATE_2_arcgis104.tlb“ a klikneme na otevřít. V Categories listu na levé straně Customize okna klikneme na “V-LATE 2.0v_ArcGIS_104“ a v okně Command přetáhneme „V-LATE 2.0“ kamkoli na volný toolbar. Pro analýzu je třeba přidat z databáze shapefile obsahující polygonovou vrstvu zkoumané mozaiky. Po kliknutí na V-LATE 2.0 se zobrazí nabídka s možnými druhy analýz (Obrázek č. 15). V první řadě je nutné provést základní výpočet zkoumané plochy (Area / Perimeter). Výpočet fraktální dimenze je možné provést skrze Form Analysis. V okně Select class field je zvolen atribut obsahující data o zkoumané mozaice (v tomto případě daný atribut obsahuje pouze dvě hodnoty – 0 a 1, kde 0 náleží polygonům mozaiky a 1 zbytku plochy pole). V následujícím okně Select new classes je tedy zvolena 1. Výstupem výpočtu jsou hodnoty Mean Shape Index, Mean Perimeter-Area Ratio a Mean Fractal Dimension (Obrázek č. 16).

Obrázek č. 15: Prostředí nástroje V-LATE 2.0

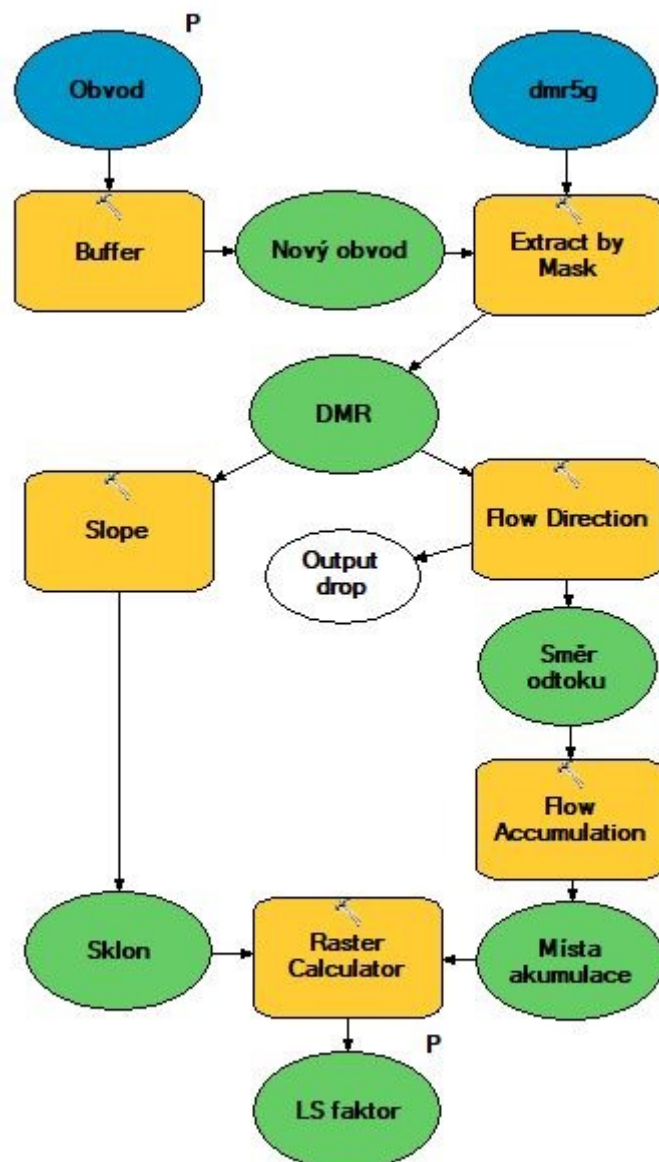


Obrázek č. 16: Výstup z nástroje V-LATE 2.0

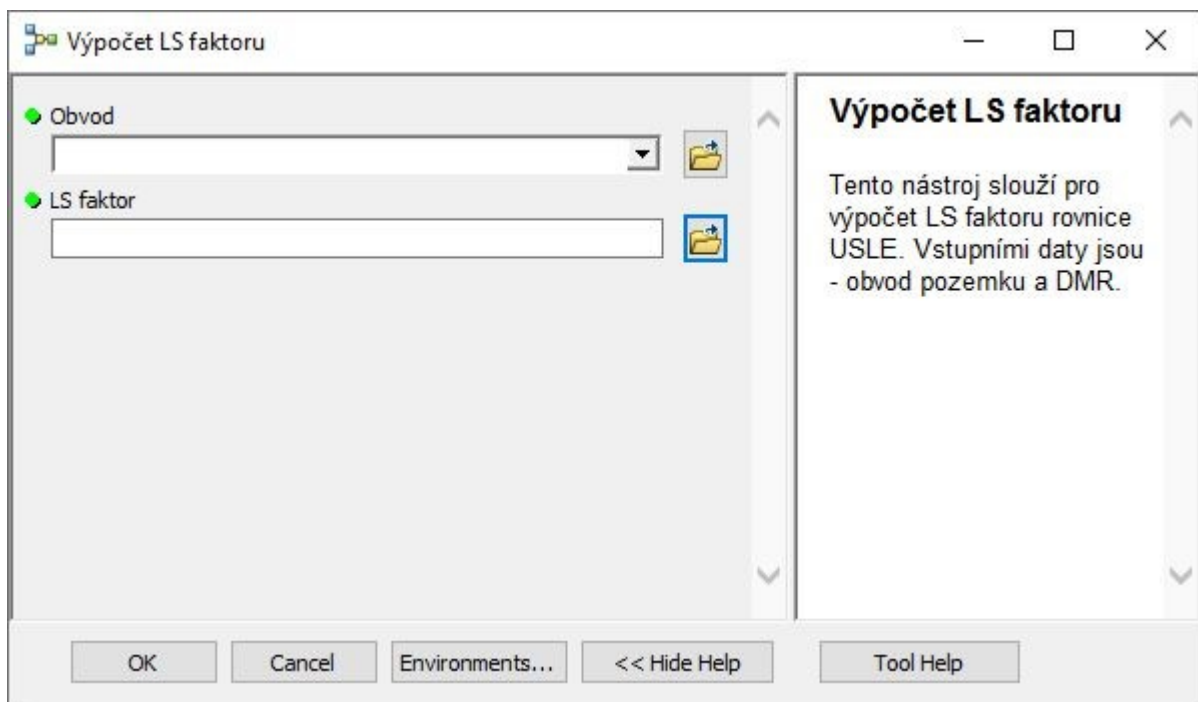


Pro analýzy s DMR byly použity shapefiley hranic polí, které byly zvětšeny funkcí Buffer, aby při výpočtech nad DMR nedocházelo ke zkreslování údajů na kraji pole. DMR pro každé z lokalit bylo vyextrahováno z image služby DMR 5G ČÚZK funkcí Extract by Mask (kde maskou je zmíněný okraj pole s buffrem). Nad touto vyextrahovanou vrstvou byly vytvořeny vrstvy sklonitosti (Slope), směr odtoku (Flow Direction) a místa akumulace odtékající vody či erodovaných částic (Flow Accumulation). Z těchto rastrů byl následně vypočítán LS faktor dle Mitášová et al. (1996) (rovnice 3 a 4). Vzhledem k množství dat a počtu potřebných úkonů byl v programu ArcGIS využit model builder. Vytvořené schéma postupu je znázorněno na Obrázku č. 17.

Obrázek č. 17: Schéma postupu vytvořeného nástroje v model builderu.



Obrázek č. 18: Vytvořený nástroj pomoci model builderu.



$$LS(r) = (m + 1) \cdot \left(\frac{A(r)}{a_0}\right)^m \cdot \left(\frac{\sin b(r)}{b_0}\right)^n \quad (3)$$

Výpočet LS v GIS dle Mitášové (1996). Kde A je tzv. plocha nad počítanou buňkou zahrnující odtok vtékající do dané buňky [$m^2/2$], b je sklon svahu [$^\circ$], m a n jsou parametry ($m = 0,4$ až $0,6$ a $n = 1,0$ až $1,4$), a_0 je délka svahu určená metodou USLE ($a_0 = 22,13$ m) a b_0 je sklon svahu určený metodou USLE ($b_0 = 0,09 = 9\% = 5,16^\circ$).

$$(0.4+1) * (\text{Power}(\text{"flow_accumulation_raster"} * \text{rozlišení rastru} / 22.13, 0.4)) * (\text{Power}(\text{Sin}(\text{"raster_sklonu"} * 3.14159 / 180) / 0.09, 1.0)) \quad (4)$$

Zápis v Raster calculatoru pro výpočet LS faktoru pro plošnou erozi dle Mitášové (1996) v programu ArcGIS.

3.3 Klasifikace

Jedním z cílů této práce je vytvoření klasifikace, jež by rozdělila vybrané lokality do tříd, které by měly společné znaky nebo vlastnosti půdních mozaik, které se na těchto lokalitách vyskytují. Příčiny vzniku těchto mozaik se dají rozdělit do několika kategorií. Projevy těchto příčin jsou však společné. Rozdílné mocnosti humusových horizontů, rozdílný obsah organické hmoty a živin celkově, rozdílná zrnitost a v důsledku všech těchto příčin schopnost vázání vody na delší období z důvodu rychlejšího vysychání. To vede i ke změně půdní struktury a dále negativně ovlivňuje půdní vlastnosti, a to na velice krátkých vzdálenostech. V návaznosti na to může mozaiku dokreslovat i vegetace, která kvůli nedostatku vody a živin na některých místech roste málo, nebo dokonce vůbec, zatímco o několik metrů opodál se jí díky větším zásobám vody daří lépe a pokryvnost je tak větší. Organická hmota, půdní struktura i půdní textura, která se mění v důsledku vnoření se půdotvorného substrátu až na povrch, půdní vlhkost, to vše má za následek odlišnou odrazivost povrchu půdy a díky tomu jsme schopni tyto odlišnosti zaznamenat. Níže popsané klasifikační přístupy se snaží tyto mozaiky roztrždit na základě geneze jednotlivých mozaik, nebo na základě tvaru, který byl zkoumán pomocí výpočtu fraktální dimenze mřížkovou metodou.

Proto, aby bylo možné vybrané mozaiky roztrždit bylo vzájemně mezi sebou porovnáno velké množství dat (mapy půdních typů, skeletovitosti a hloubky půdy, letecké snímky), vypočítáno několik rastrových vrstev z DMR (Slope, Flow Direction, Flow Accumulation), které následně byly použity pro výpočet LS faktoru, který reprezentuje náchylnost půdy k erozi vztaheného k vlivu reliéfu a byly použity výsledky práce Kocum (2018), kde byla jedna z vybraných mozaik zmapována a byla vysvětlena její příčina. Byly navrhnuty tři skupiny popisující možný vznik zkoumaných mozaik, které dále dohromady popisují celkem devět možných principů, díky kterým může mozaika na zemědělské půdě vzniknout. Tyto kategorie jsou dále blíže slovně popsány a každé z nich je přiřazen jednoduchý piktogram a letecký snímek zobrazující „vzorový“ příklad mozaiky dané kategorie. Dále byla vypočítána fraktální dimenze mřížkovou metodou, a to celkem dvěma programy. Ve výsledcích těchto výpočtů byly hledány shluky hodnot, které by jednotlivé lokality roztrždily do skupin. Následně tyto skupiny byly vyhodnoceny. Zda obsahují lokality nějakým způsobem sobě podobné, nebo je rozdělení do skupin nevydařené a dílčí lokality navzájem žádné podobné znaky nesdílejí.

3.3.1 Klasifikace dle geneze

Byly stanoveny tři základní skupiny lišící se od sebe hlavním faktorem, který má vliv na výslednou mozaiku. Těmito třemi faktory jsou:

- a) Vliv hloubky, mocnosti a vlastností matečné horniny
- b) Vliv tvaru reliéfu
- c) Vliv antropogenní činnosti a reliktní tvary

Tyto tři skupiny se dále dělí a vymezují celkem devět principů, jakým mozaika může vzniknout. U většiny zkoumaných případů je však patrné, že se nejedná vždy pouze o jeden typ příčiny vzniku, ale výsledný tvar mozaiky je kombinace i několika níže definovaných příčin. Mnohdy je určení kategorie velmi jednoduché, stačí zvážit místo výskytu, tvar mozaiky a tvar reliéfu. Jindy je však určení komplikované, potřeba nahlédnout například do historických map nebo zvážit kombinaci faktorů, mající podíl na výsledné mozaice. Některá místa, například lokalitu Kleneč 1, bychom nebyli schopni určit bez terénního průzkumu, kterým jsme se přesvědčili o zdejších podmínkách, a princip vzniku této mozaiky se následně dá lehce aplikovat v jiných případech.

3.3.1.1 Vliv hloubky, mocnosti a vlastností matečné horniny

V této skupině jsou celkem tři kategorie. Do první z nich [A] spadá například mozaika na území označeném v této práci jako Kleneč #1 (Obrázek č. 19). Jedná se o totéž území, které bylo zkoumáno v práci Kocum (2018). Přítomnost zdejší mozaiky je dána odlišnou hloubkou, ve které se nachází matečná hornina, kterou tvoří písečná říční terasa. Toto zvlnění není samo o sobě vidět na povrchu, který je takřka rovný a nic nenasvědčuje tomu, že by se mělo jednat o mozaiku zapříčiněnou erozí (alespoň co se prostředka pozemku týká). Důvodem je nerovnoměrné pokrytí zvlněné říční terasy spraší a na ní vytvořené černozemě. Vzhledem k tomu, že povrch je rovný, je přítomná černozem místy mocnější než jinde. Postupnou denudací povrchu se říční terasa dostává stále blíže k povrchu. V takových místech je pak priorávána do ornice a mění texturu půdy. Výsledkem jsou místa s mocnou černozemí (i více než jeden metr mocné) a místa jež tvoří pouze regozem. Mozaika tohoto typu vzniká na rovinnatých místech říčních teras. Mozaika přechází z tmavých míst plynule do míst světlých. Přechody mezi těmito dvěma extrémy nejsou ostré, a to z toho důvodu, jak se postupně

na několika metrech mění hloubka písčité terasy vůči povrchové rovině. Nejsou zde patrné žádné logické vzorce a mozaika je čistě náhodná s minimální souvislostí s tvarem reliéfu.

Obrázek č. 19: Zástupce kategorie [A]. Lokalita Kleneč #1.



Zmíněná mozaika kategorie [A] je ta uprostřed pozemku. Okrajové liniové tvary jsou způsobeny kategorií [D]. Zdroj: <https://www.mapy.cz>

Druhou kategorií [B] je mozaika podmíněná říčními uloženinami. Jako vzorový příklad může sloužit území označené jako Šumperk #2 (Obrázek č. 20). Mozaika je způsobena odlišnými vlastnosti uloženin. Uloženiny, tvořící v těchto místech fluvizemě, jsou odlišné z pohledu velikosti uložených frakcí, obsahu organické hmoty a schopnosti vododržnosti. Mozaiku tohoto typu je možné pozorovat na zemědělských pozemcích ležících v nivách říčních toků, a to jak v těch současných, tak těch zaniklých. Viditelná je zejména na středních a dolních částech toku, kde je niva dostatečně široká a unášecí schopnost toku zde již klesla pod takovou úroveň, kdy umožnila ukládání splavenin a plavenin. Tvary způsobené těmito nánosy tvoří obloukovité linie či úzké protáhlé polygony, připomínající kdysi zde protékající vodní tok. Tyto linie mohou být jednoduché, jedná-li se o zaslepené rameno řeky (případně odštěpené rameno řeky (limanové jezero), které bylo následně zazemněno), nebo složité, jedná-li se o úsek vodního toku, kde docházelo k říčnímu divočení.

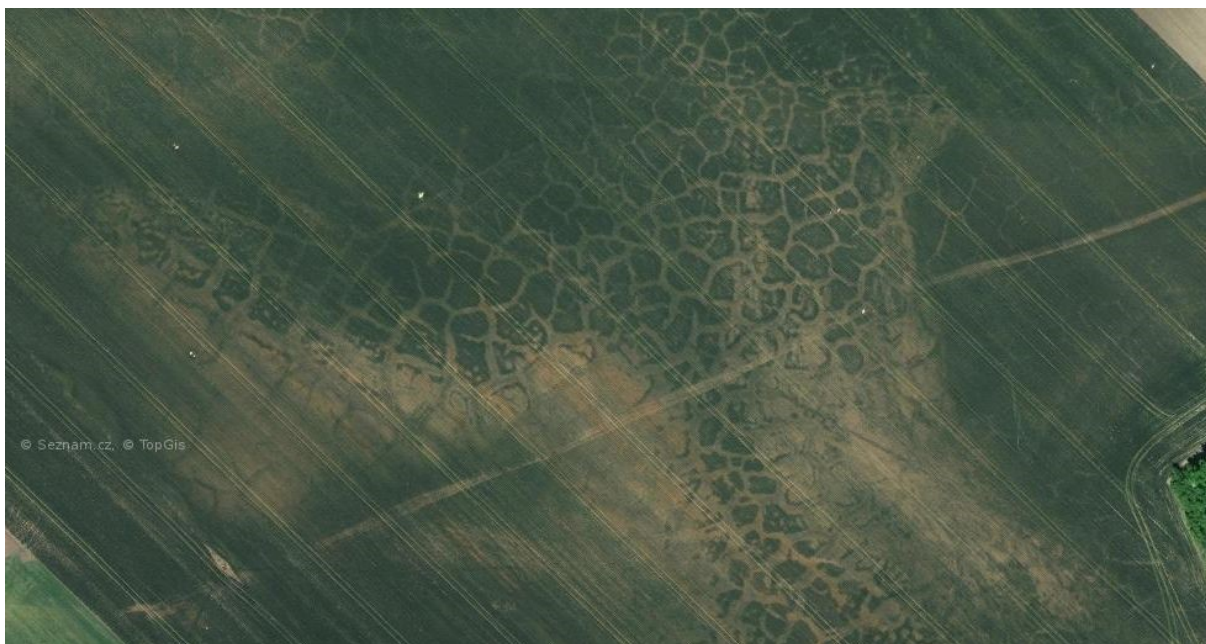
Obrázek č. 20: Zástupce kategorie [B]. Lokalita Šumperk #2.



Zdroj: <https://www.mapy.cz>

Třetí kategorii [C] této skupiny tvoří mozaiky polygonálních sítí způsobené pseudomorfózami mrazových klínů. Tento druh mozaiky se vyskytuje zejména v oblasti České křídové tabule a Dyjsko-svrateckém a Dolnomoravském úvalu v nadmořských výškách od 150 m n. m. do 450 m n. m., a to na rovinách (sklon 0° až 2°), nebo mírných svazích (sklon 2° až 5°), které jsou dobře odvodněné. Substrátem jsou jemnozrnné sedimenty (jíly, spraše). Výsledným tvarem jsou převážně tetragonální, pentagonální a hexagonální polygony s variabilní velikostí (s průměrem od 1 m do více než 30 m) (Vohradský 2013). Mozaiky tohoto typu jsou snadno rozeznatelné, díky až geometricky pravidelnému mramorování, kdy ostré linie lomené ostrými úhly vystupují z okolního prostředí (Obrázek č. 21).

Obrázek č. 21: Zástupce kategorie [C]. Lokalita Kleneč #9.



Zdroj: <https://www.mapy.cz>

3.3.1.2 Vliv tvaru reliéfu

Tři kategorie tvořící tuto skupinu jsou důsledky projevu vodní a větrné eroze. Dvě hlavní kategorie této skupiny jsou vázány na vodní erozi, a to jak soustředěné (stružková, rýhová a stržová eroze) tak plošné (plošný splach). Třetí kategorie vázající se na účinky větrné eroze je spíše doplňkovou a čistě teoretickou kategorií s minimálním vlivem proti předešlým dvěma kategoriím.

První kategorie [D] byla definována erozní činností vody, která eroduje povrch v různých měřítcích formou erozních rýh a strží. V těchto rýhách dochází po srážkových událostech jak k odnosu svrchní vrstvy A horizontu z daného pole, která následně sedimentuje na konci této erozní rýhy / strže na úpatí svahu a vytváří zde koluvizemě, tak sedimentaci jemných částic v erozní rýze samotné. Rýha tak může být vyplněna přemístěným humusovým horizontem, který zde pak tvoří vrstvu mocnější než v okolí. Mozaiky tohoto typu jsou především na svažitéch plochách a shodují se s DMR, kdy mozaika viditelná z leteckých snímků z velké části odpovídá erozním tvarům v reliéfu (Obrázek č. 22 a 23).

Obrázek č. 22: Zástupce kategorie [D]. Lokalita Šardice #8.



Zdroj: <https://www.mapy.cz>

Obrázek č. 23: Výřez DMR 5G lokality z Obrázku č. 22



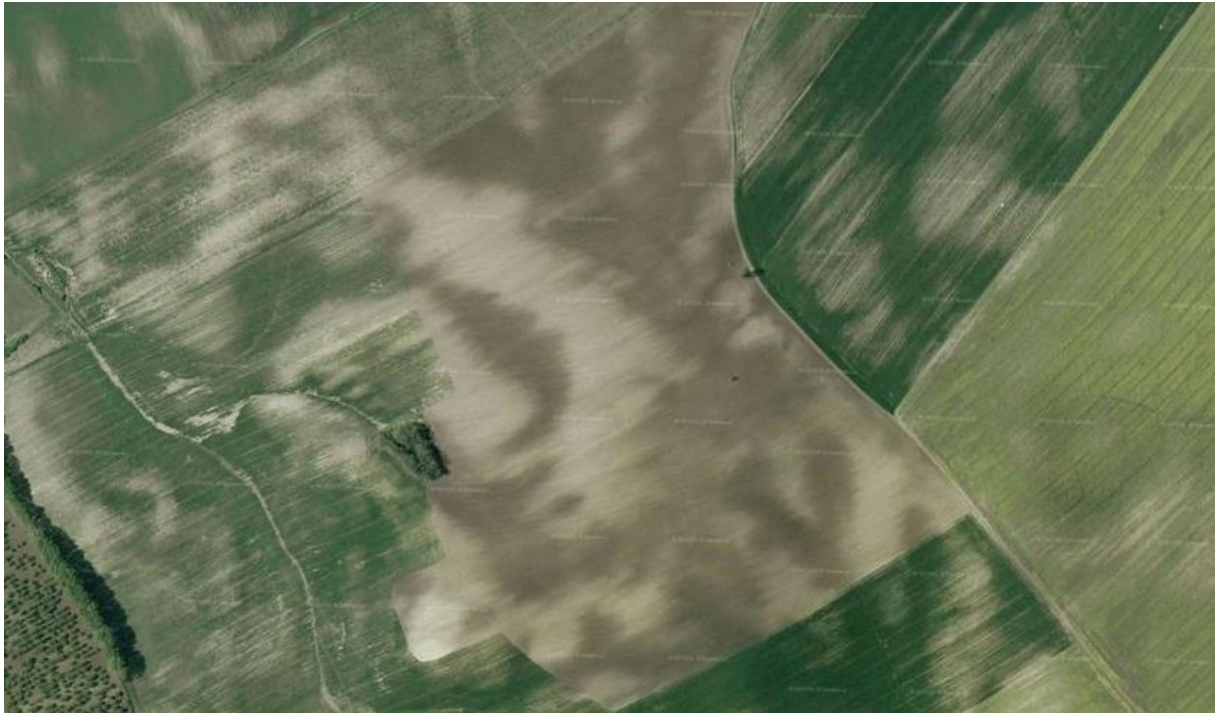
Zdroj: WMS služba ČÚZK dostupná z: <http://ags.cuzk.cz/arcgis2/services/dmr5g/ImageServer/WMServer?request=GetCapabilities&service=WMS>

V některých případech tato korelace není přítomna, a to z důvodu zaplnění erozní rýhy materiálem až do úrovně okolního terénu. Jedná se o postupně se rozšiřující liniové tvary, kdy délka převažuje nad šířkou (výjimkou mohou být větší strže). Z leteckých snímků jsou mozaiky tohoto typu dobře rozeznatelné, vzdáleně připomínají říční toky.

Mozaiky druhé kategorie [E] této skupiny jsou zapříčiněny plošným splachem orničního Ap horizontu. Na rozdíl od předešlé kategorie, nejsou tato místa vždy viditelná přímo z DMR. Je třeba zobrazit vrstvu sklonitosti, se kterou tyto mozaiky velmi dobře korelují. Světlá místa mozaik odpovídají plochám s vysokým sklonem, kde dochází k plošnému smyvu Ap horizontu a na povrch se dostává půdotvorný substrát (spraš, terasové šterky, jíly, slíny). Naopak tmavá místa odpovídají konvexním či konkávním částem reliéfu. V konvexních (tj. vypouklých) místech se Ap horizont stále udržel, leč je v důsledku postupující eroze stále ukrajován a v konkávních (tj. vydutých) místech dochází k akumulaci transportovaného materiálu, humusový horizont zde nabývá mocnosti a v pokročilých stádiích vývoje a pokračujícího splachu i samotného půdotvorného substrátu dochází k vývoji retrográdních půd, kdy se půdotvorný substrát C dostává nad humusový horizont A. Mozaika tohoto typu se vyskytuje v členitém reliéfu, tvary vzniklé tímto procesem jsou náhodné, kromě korelace se sklonitostí, která z leteckých snímků není patrná, nevykazují žádné logické vzory a jejich rozmístění se jeví jako čistě náhodné. V závislosti na tvaru reliéfu se lze setkat s tmavou linií probíhající mezi dvěma světlými místy. V takových případech se často jedná o tmavý hřeben dané elevace, kde Ap horizont stále ještě nebyl erodován a světlá místa tvoří smyté svahy této elevace (Obrázek č. 24). Podobná problematika je řešena v práci Penížek et al. (2016) (Obrázek č. 25).

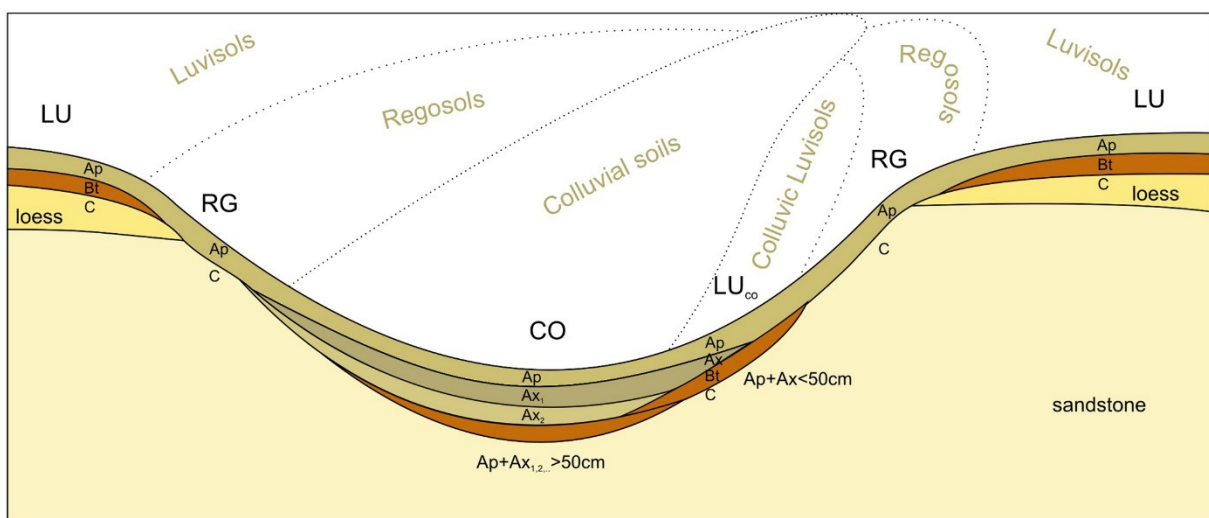
Doplňkovou kategorii [F] této skupiny tvoří teoretický vliv větrné eroze, která podporuje vznik mozaik vzniklých v členitém terénu. Jedná se o odnos jemných půdních částic z návětrných stran svahů a jejich následná sedimentace po snížení unášecí schopnosti větru v konkávních částech reliéfu. Zasažené plochy tímto jevem by se měly shodovat jak s výše popsány mi místy zasažených plošným splachem, pokud se jedná o svah vystavený nárazovému poryvům větru, tak by měly být postiženy i samotné konvexní vrcholky elevací ve více členitém reliéfu, kde se svahy jednotlivých elevací vzájemně kryjí a potřebná síla větru se dostává pouze k vrcholům daných elevací.

Obrázek č. 24: Zástupce kategorie [E]. Lokalita Šardice #1.



Zdroj: <https://www.mapy.cz>

Obrázek č. 25: Ovlivnění půdního profilu vodní erozí na příkladu luvizemí.



Zdroj: Penížek et al. (2016).

3.3.1.3 Vliv Antropogenní činnosti a reliktní tvary

Oproti předchozím dvěma skupinám, tvořenými čistě přírodními procesy jsou tyto tři kategorie ryze antropogenního původu. První dvě kategorie jsou důsledkem orby v místech, kde se nachází mělký Ap horizont nebo A horizont mizí zcela a je nahrazen půdotvorným substrátem. Třetí kategorii reprezentují reliktní tvary staveb, či jiných antropogenních prvků.

V prvním případě [G] jde o tvary způsobené orbou v místech s mělkým Ap horizontem, kdy dochází k přiorávání půdotvorného substrátu (například spraše, terasových šterků aj.) do A horizontu a mění se tak půdní vlastnosti tohoto horizontu. Díky odlišným vlastnostem dochází i ke změně v odrazivosti daného povrchu vůči okolí a plocha se tak na snímcích nejeví jako homogenní. Projevem je rovnoběžná liniová šrafura tvořená brázdami napříč zemědělským pozemkem (Obrázek č. 26).

Druhá kategorie [H] je opět způsobená orbou a míšením ornice a podorničí. V tomto případě jde jen o „doplňkový“ tvar jinak přírodně utvořených mozaik, kdy rozhraní mezi světlými a tmavými místy není ani plynulé, ani ostré, ale tvoří ho jakési jehličkovité výběžky tmavých míst do světlých a naopak (Obrázek č. 27).

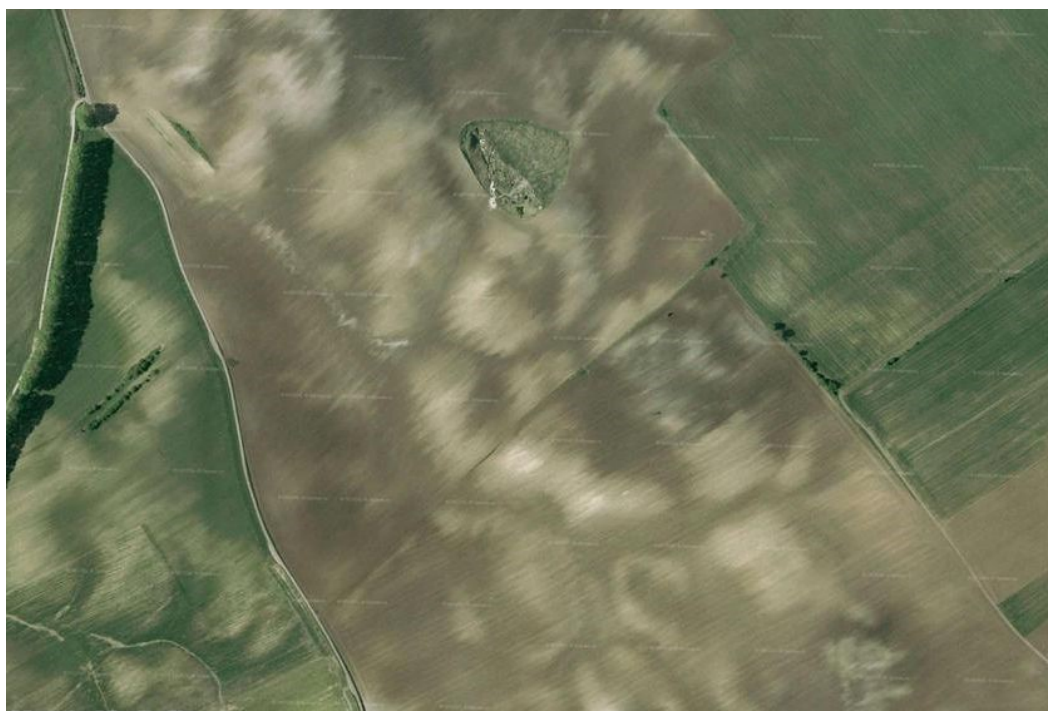
Poslední kategorií [I] jsou reliktní antropogenní tvary. Ty jsou v krajině z leteckých snímků často velmi dobře rozpoznatelné. Jsou tvořeny převážně geometrickými tvary (linie v případě zaniklých cest, čtvercové a obdélníkové útvary v případě půdorysů zaniklých budov nebo kruhy například po zaniklém sadu (Obrázek č. 28)), které by se v daném místě sami od sebe nevyskytly. Tyto prvky jsou přesné, ostré a v některých případech pravidelně uspořádané. Odlišnost vůči okolí je dána buďto utuženým nebo nepropustným podložím (v případě zasypání bývalých polních cest nebo zakopaných základů budov), nebo rozdíl ve složení a vlastnostech půdního profilu například v místech již zmíněného sadu, kde místa po odstraněných ovocných stromech byly zasypány jiným druhem zeminy a v rámci šterkopískové terasy zde utvořily jakési homogenní čočky. V tomto konkrétním případě je v okolí degradovaná černozem na spraši na šterkopískové říční terase. V důsledku denudace a odnosu značné části A horizontu tvoří okolí snadno vysychavá místa s mělkým či dokonce žádným A horizontem a malým obsahem organické hmoty. Zatímco místa po ovocných stromech, i přes to, že byla denudována, si stále zachovala stejné složení půdního profilu a tím i podobné vlastnosti. Některé liniové sbíhající se prvky mohou být také důsledkem melioračních zásahů.

Obrázek č. 26: Zástupce kategorie [G]. Lokalita Milotice #1.



Zdroj: <https://www.mapy.cz>

Obrázek č. 27: Zástupce kategorie [H]. Lokalita Těmice #1.



Zdroj: <https://www.mapy.cz>

Obrázek č. 28: Příklad kategorie [I]. Mozaika po zaniklém sadu.



Zdroj: <https://www.mapy.cz>

Posledním jevem vyskytujícím se na zemědělských půdách jsou koleje vyjeté od zemědělské techniky. V důsledku silného utužení půdy a neustálé disturbanci zemědělskou technikou je v těchto místech pro vegetaci obtížné až nemožné tyto místa obsadit, a proto tyto koleje zůstávají nezakryté vegetací. Tyto vyjeté koleje tvoří doplněk mnoha mozaik zkoumaných v této práci, samy však brány v úvahu nejsou, jelikož se jedná o prvek postihující všechny zemědělské pozemky.

3.3.2 Klasifikace dle fraktální dimenze

Poté, co byly provedeny potřebné analýzy v programu ImageJ a ArcGIS (nástrojem V-LATE) a vypočítány hodnoty fraktální dimenze, byly tyto hodnoty vloženy do bodového grafu v programu Excel. Z grafů bylo vyhodnocováno, zda se zde nacházejí přirozeně vzniklé shluky hodnot, zda jsou zde patrné alespoň nějaké prahové dělicí hodnoty, či jsou data bez jakýchkoli náznaků rozdělení a bude nutné odhadem skupiny vytvořit uměle a zda shluky obsahují nějakým způsobem sobě si podobné lokality.

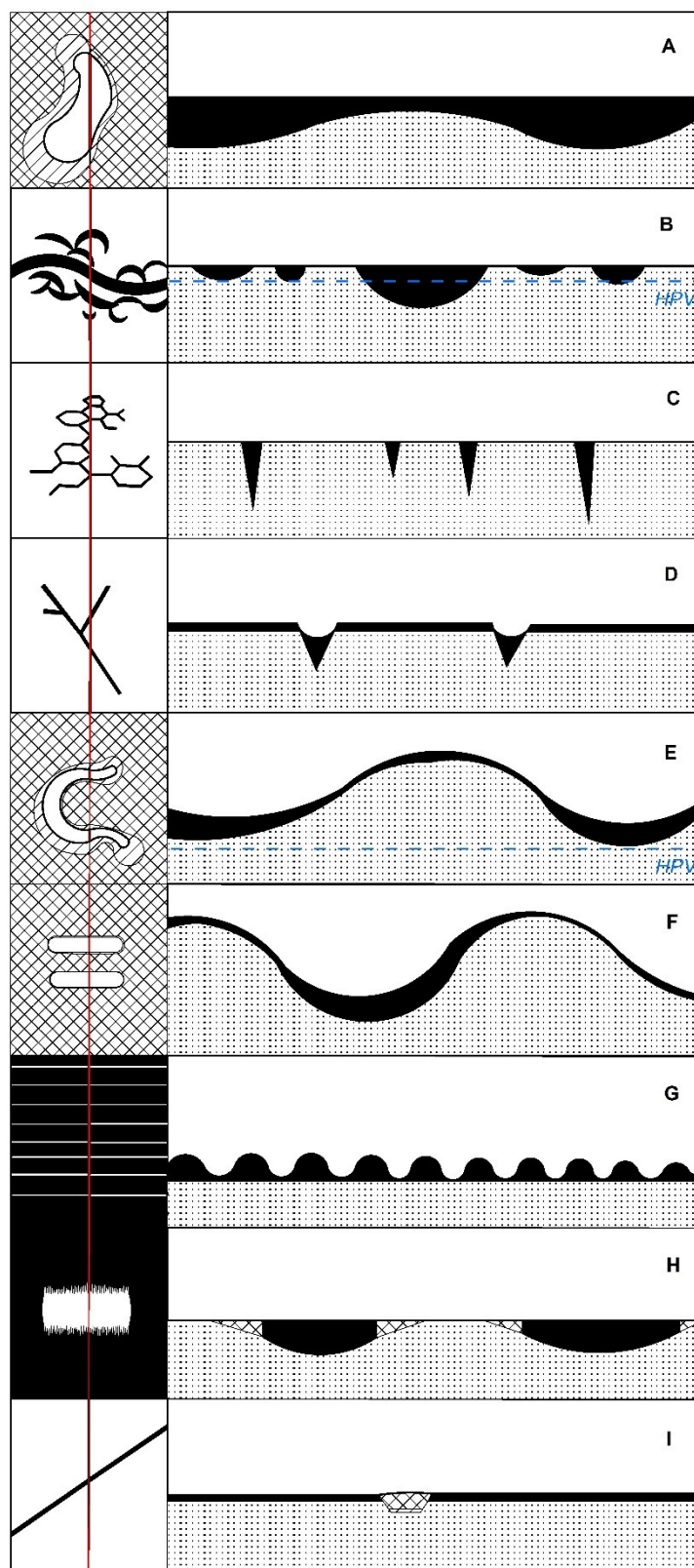
4. Výsledky

Pro všechna vybraná území bylo zpracováno mnoho datových vrstev, které sloužily jak k vytvoření si představy o daném místě, tak k pozdějšímu rozřídění lokalit do skupin dle určené podobnosti (geneze, fraktální dimenze).

V případě klasifikace dle geneze byly na základě fyzickogeografických znalostí a poznatků z prací Vohradský (2013) a Kocum (2018) vymezeny celkem tři skupiny obsahující devět kategorií možného vzniku studovaných mozaik (schéma jednotlivých mozaik je znázorněno na Obrázku č. 29). Do těchto kategorií byly vybrané lokality rozříděny dle převažujícího původu vzniku. Většina mozaik však není výsledkem pouze jednoho procesu, proto byly určeny další kategorie jako vedlejší s dodatečným podílem na výsledné mozaice. V některých případech však nešla určit majoritní a minoritní příčina, jelikož zde vedle sebe byly 2 majoritní. Proto jsou některé lokality zařazeny do dvou kategorií zároveň. Výsledné rozdělení do jednotlivých kategorií je znázorněno v Tabulce č. 7, kde jsou vedle těchto hodnot pro porovnání i další hodnoty, které jsou popsány dále v textu. Nejvíce lokalit (celkem 20 případů) spadá do kategorie [D], způsobených soustředěnou vodní erozí do strží a erozních rýh, kudy je transportovaný materiál unášen a částečně sedimentován. Druhá nejpočetnější kategorie [E] obsahuje 16 případů. Ta je způsobena plošnou vodní erozí (plošným splachem) na svažitém reliéfu. Dohromady tyto dvě kategorie obsahují 36 případů z 50 řešených.

Na základě práce Čepová (2012) byl vybrán vhodný a volně dostupný program pro zpracování snímků a výpočtu mřížkové fraktální dimenze, tj. program ImageJ. Předem připravená rastrová data byla analyzována a byly vypočteny hodnoty fraktální dimenze. Tyto hodnoty, včetně mezihodnot výpočtu (tj. počty buněk daného měřítka obsahujících mozaiku během výpočetního kroku) jsou uvedeny v Tabulce č. 8. Z důvodu ověření (a z části ze zvědavosti) byla jedna z lokalit podrobena výpočtu fraktální dimenze i dalším programem (nástrojem V-LATE v prostředí ArcGIS). Zjištěná odlišnost výsledku vedla k výpočtu fraktální dimenze druhým programem ve všech lokalitách. Porovnání hodnot z programu ImageJ a nástroje V-LATE je znázorněno v Tabulce č. 9 a 10. Po vynesení hodnot do grafu (Obrázek č. 30) byly vymezeny hranice jednotlivých skupin bodů. V rámci programů se lišily jak maxima a minima, hranice jednotlivých skupin, tak i počet skupin do kterých byly hodnoty rozděleny.

Obrázek č. 29: Schéma vytvořených kategorií.



Tabulka č. 7: Rozdělení do tříd klasifikace dle geneze a fraktální dimenze.

ID	Hlavní kategorie	Vedlejší kategorie	ImageJ D	V-LATE D	ID	Hlavní kategorie	Vedlejší kategorie	ImageJ D	V-LATE D
3	A, D	I	3	2	41	D	A	1	3
2	B	-	4	1	42	D	-	4	3
20	B	-	4	1	44	D	-	3	4
21	B	-	4	2	50	D	-	1	4
22	B	-	1	3	16	D, E	-	4	1
23	B	-	2	3	17	D, E	-	4	1
24	B	E, I	1	4	18	D, E	-	1	1
30	B	-	3	4	43	D, E	-	3	2
45	B	-	1	4	1	E	H	2	1
46	B	D	2	4	19	E	H, G	3	1
12	B, D	-	4	1	25	E	H	3	1
27	B, D	-	1	3	26	E	H, G	4	1
11	C	E	4	4	29	E	I, H	4	1
5	D	A	2	1	32	E	B	4	1
6	D	-	4	1	33	E	F	2	1
7	D	E	3	1	34	E	D	4	1
8	D	E	3	2	35	E	F	3	1
9	D	-	3	2	36	E	H, G	3	2
10	D	I	1	2	47	E	H	3	2
13	D	-	1	2	48	E	H	3	2
14	D	A	1	2	49	E	I	1	2
28	D	A	3	2	4	E, C	I	4	3
31	D	B	1	2	37	E, D	H, G	4	1
39	D	B	1	3	38	E, D	H	3	1
40	D	A	4	3	15	I	E	4	1

Program ImageJ stanovil hodnoty s minimem 1,549, maximem 1,848 a průměrem 1,736. Hodnoty vypočtené nástrojem V-LATE mají minimum 1,525, maximum 1,960 a průměr 1,721. Maxima i minima jsou v případě V-LATE sice vyšší, na střední hodnotě a průměru je však vidět, že hodnoty vycházejí nižší než v případě ImageJ. Hranice jednotlivých skupin byly určeny těmito intervaly – ImageJ: $\langle 1,549, 1,665 \rangle$, $\langle 1,665, 1,712 \rangle$, $\langle 1,712, 1,776 \rangle$ a $\langle 1,776, 2 \rangle$; V-LATE: $\langle 1,525, 1,683 \rangle$, $\langle 1,683, 1,762 \rangle$, $\langle 1,762, 1,807 \rangle$ a $\langle 1,807, 2 \rangle$. Viditelný vztah mezi devíti kategoriemi stanovenými dle geneze a třemi potažmo čtyřmi kategoriemi stanovenými na základě fraktální dimenze zde není. Kategorie jsou navzájem promíchané a netvoří ucelené homogenní skupiny.

Tabulka č. 8: Hodnoty výpočtu fraktální dimenze programem ImageJ.

ID	Počet buněk mřížky obsahujících mozaiku při daném velikosti buňky									D
	2	3	4	6	8	12	16	32	64	
1	241 884	109 258	62 813	29 254	17 113	8 145	4 868	1 456	464	1,809
2	82 640	40 171	24 629	12 464	7 736	3 983	2 490	876	319	1,606
3	202 707	93 359	54 360	25 658	15 179	7 320	4 406	1 347	437	1,776
4	234 954	109 160	63 719	29 980	17 524	8 343	4 957	1 469	462	1,805
5	185 726	86 310	49 884	23 190	13 531	6 415	3 806	1 138	366	1,807
6	258 255	123 321	73 575	35 766	21 477	10 456	6 316	1 850	547	1,774
7	281 416	130 385	76 203	35 710	20 978	9 972	5 900	1 700	515	1,823
8	241 995	112 748	66 797	32 587	19 534	9 663	5 957	1 854	575	1,737
9	161 397	74 923	44 083	21 690	13 274	6 755	4 271	1 438	491	1,665
10	278 333	127 929	74 541	35 416	21 081	10 408	6 360	2 023	653	1,745
11	540 444	249 830	145 423	69 081	41 046	19 571	11 758	3 332	907	1,960
12	102 356	47 460	28 380	14 037	8 586	4 424	2 810	985	352	1,632
13	72 755	33 913	20 279	9 666	5 922	3 065	1 958	701	272	1,617
14	80 715	38 863	23 900	11 835	7 373	3 897	2 520	912	360	1,566
15	297 989	134 289	77 171	35 455	20 548	9 637	5 645	1 630	503	1,848
16	165 762	76 006	44 980	21 424	12 797	6 183	3 716	1 167	379	1,757
17	321 850	145 532	83 796	38 882	22 694	10 805	6 445	1 927	586	1,820
18	300 956	136 119	78 567	36 541	21 479	10 244	6 117	1 813	571	1,811
19	238 343	107 456	61 820	28 692	16 803	7 974	4 769	1 442	459	1,807
20	203 630	96 922	58 223	28 849	17 647	9 123	5 682	1 864	559	1,686
21	322 890	147 264	85 079	39 707	23 202	10 961	6 450	1 843	545	1,843
22	70 910	33 168	19 874	9 857	6 036	3 115	2 008	720	272	1,605
23	197 582	93 897	56 789	27 860	17 037	8 527	5 251	1 667	514	1,710
24	235 914	110 603	65 279	31 362	18 647	9 132	5 518	1 683	525	1,762
25	252 381	114 229	65 764	30 430	17 686	8 353	4 957	1 491	489	1,811
26	115 119	52 288	30 514	14 463	8 611	4 241	2 615	865	313	1,710
27	241 974	109 909	63 638	29 893	17 547	8 445	5 083	1 564	505	1,784
28	112 592	52 377	31 021	15 279	9 301	4 730	2 950	1 015	362	1,655
29	191 387	89 252	52 810	25 490	15 265	7 530	4 609	1 447	463	1,737
30	100 821	46 887	27 805	13 577	8 234	4 165	2 623	905	319	1,659
31	86 598	40 586	24 522	12 393	7 603	4 069	2 593	925	377	1,572
32	208 165	94 448	54 671	25 288	14 868	7 175	4 331	1 384	474	1,763
33	138 785	64 721	38 343	18 236	11 179	5 418	3 410	1 130	379	1,703
34	82 202	38 664	23 312	11 225	7 078	3 483	2 295	808	272	1,640
35	198 708	92 028	54 094	25 504	15 493	7 472	4 625	1 442	438	1,759
36	252 370	116 718	68 365	32 242	19 376	9 392	5 784	1 850	597	1,744
37	173 750	80 558	47 355	22 335	13 546	6 532	4 069	1 287	410	1,743
38	242 565	110 605	63 835	29 466	17 407	8 161	4 968	1 506	446	1,815
39	153 965	71 029	41 944	19 843	11 924	5 922	3 644	1 192	412	1,712
40	208 921	96 022	55 777	26 119	15 254	7 272	4 300	1 290	405	1,808
41	55 526	25 803	15 804	8 019	5 026	2 690	1 742	637	256	1,549
42	139 181	63 524	36 944	17 173	10 368	4 922	3 079	978	317	1,755
43	79 356	36 687	21 655	10 209	6 366	3 063	2 009	696	250	1,662

44	145 382	69 658	41 458	19 715	11 960	5 720	3 560	1 120	349	1,742
45	184 959	84 896	49 229	23 105	13 531	6 497	3 863	1 127	339	1,818
46	222 853	102 350	59 579	27 953	16 454	7 853	4 694	1 359	398	1,823
47	284 940	129 630	75 148	35 184	20 735	10 004	6 032	1 893	626	1,770
48	148 016	67 226	39 067	18 314	10 827	5 209	3 139	998	335	1,763
49	259 599	117 636	67 844	31 845	18 376	8 733	5 214	1 576	511	1,804
50	183 246	86 728	51 846	25 626	15 695	8 040	5 049	1 703	590	1,653

Sloupce 2 až 10 vyjadřují výsledky mezi výpočtu mřížkové dimenze. Hodnoty popisují, kolik z buněk dané mřížky o dané velikosti obsahovalo zkoumanou mozaiku. V posledním sloupci je uvedena finální hodnota fraktální dimenze D.

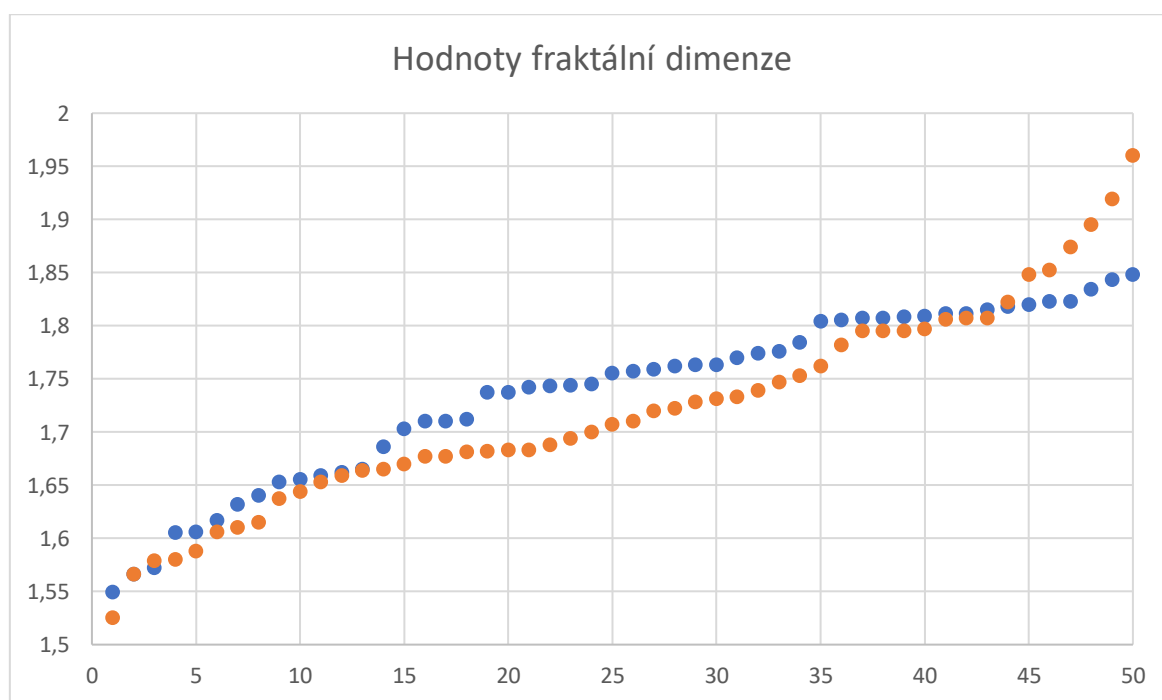
Tabulka č. 9: Rozdíly hodnot fraktální dimenze D.

ID	ImageJ	V-LATE	ID	ImageJ	V-LATE
1	1,809	1,606	26	1,710	1,525
2	1,606	1,822	27	1,784	1,681
3	1,776	1,707	28	1,655	1,731
4	1,805	1,807	29	1,737	1,733
5	1,807	1,795	30	1,659	1,782
6	1,774	1,753	31	1,572	1,895
7	1,823	1,806	32	1,763	1,579
8	1,737	1,720	33	1,703	1,637
9	1,665	1,747	34	1,640	1,739
10	1,745	1,682	35	1,759	1,710
11	1,834	1,960	36	1,744	1,694
12	1,632	1,795	37	1,743	1,683
13	1,617	1,728	38	1,815	1,644
14	1,566	1,795	39	1,712	1,615
15	1,848	1,588	40	1,808	1,670
16	1,757	1,722	41	1,549	1,797
17	1,820	1,659	42	1,755	1,700
18	1,811	1,677	43	1,662	1,683
19	1,807	1,610	44	1,742	1,874
20	1,686	1,807	45	1,818	1,653
21	1,843	1,688	46	1,823	1,677
22	1,605	1,852	47	1,770	1,665
23	1,710	1,919	48	1,763	1,566
24	1,762	1,848	49	1,804	1,664
25	1,811	1,580	50	1,653	1,762

Tabulka č. 10: Porovnání hodnot fraktální dimenze a stanovených skupin.

	ImageJ		V-LATE	
Minimum	1,549		1,525	
Maximum	1,864		1,960	
Průměr	1,736		1,721	
	Interval	Σ	Interval	Σ
I. interval	< 1,549, 1,665 >	13	< 1,525, 1,683 >	21
II. interval	(1,665, 1,712 >	5	(1,683, 1,762 >	14
III. interval	(1,712, 1,776 >	15	(1,762, 1,807 >	8
IV. interval	(1,776, 2)	17	(1,807, 2)	7

Obrázek č. 30: Vypočtené hodnoty fraktální dimenze.



Modrá data zobrazují výsledky programu ImageJ, okrová nástroje V-LATE 2.0

5. Diskuze

Během vytváření této práce bylo naraženo na mnoho úskalí, které bylo třeba vyřešit. Mezi ty méně závažné patří neschopnost v některých specifických případech po mnoha hodinách práce s mozaikami rozlišit, co na snímku znázorňuje hledanou mozaiku, a která místa jsou naopak ta, jenž by v ideálním případě měla pokrývat celé pole. Je zde ale i řada dalších závažnějších kroků, nad kterými bylo nutno se zamyslet a zvážit jejich správný postup. Proto je zde uvedeno, které podklady a zpracovávané vrstvy byly užitečné a které se naopak s největší pravděpodobností mohou v případném pokračování v této problematice vynechat. Jaké další způsoby výzkumu by se v této oblasti daly využít, či jak jinak uchopit postup vypočítání fraktální dimenze, která se v této práci jevila jako ne příliš zdařilá a užitečná.

Velký význam pro utvoření si představy o tom, jak to v jednotlivých místech vypadá, mají mapy aplikace KPP, které spravuje VÚMOP. Využity byly hlavně vrstvy hloubky půdy, skeletovitosti a půdního typu, které pro lepší práci byly pomocí screenshotu a ortorektifikace přeneseny do ArcGISu, aby se překrývaly se zkoumanými leteckými snímky. Jejich přehlednost, dostupnost a podrobnost je velkou výhodou. Pro účely této práce jsou však v celku generalizované a zkoumané mozaiky nevystihují. Z 50 zkoumaných lokalit byla korelace mezi leteckými snímky a těmito podkladovými daty pouze ve 3 případech (ID 4 – Kleneč #2; ID 33 – Šardice #2; ID 42 – Štěpánovice #3). V těchto případech korelovaly všechny tři podkladové mapy. U dalších dvou lokalit byla korelace pouze slabá (ID 6 – Kleneč #4; ID 12 – Kotlasy #1). V ojedinělých případech korelovala pouze jedna z vrstev (ID 44 – Štěpánovice #5 – pouze hloubka půdy). V ostatních případech se snímky a mapy navzájem neshodovaly. Tento problém byl však očekávaný, vzhledem k způsobu tvorby těchto map, kdy výsledné polygony byly určeny na základě nepříliš husté sítě sond a následně do mapy zakresleny odborníkem provádějící daný průzkum. V terénu je pak v naprosté většině nemožné bez pomoci leteckých snímků zde zkoumanou různorodost zachytit. Občasná korelace podkladových map a leteckých snímků tedy byla spíše překvapením a byla vítána. Většinou však vše souvisí s členitostí terénu, kterou daný odborník dokázal v terénu zachytit.

Důležitou datovou vrstvou v této práci je DMR 5G a to ve formě WMS a image služby (obě poskytované geoportálem ČÚZK). Díky velmi podrobnému rozlišení, je velmi snadné odhalit reliktní tvary antropogenního původu (cesty, základy budov), leč pro určení přesného

původu některých tvarů je i tak nezbytné použít staré mapy nebo archivní letecké snímky. Ne vždy je vše vidět na první pohled z DMR, a proto druhou nejužitečnější vrstvou byla vrstva sklonitosti vypočtená právě z DMR. Vrstva orientace vůči světovým stranám v této práci využívána nebyla z důvodu malé vypovídající hodnoty. Díky užitečnosti DMR a vrstvy sklonitosti byla snaha z DMR vytěžit více a vytvořit vrstvu, která by mohla ještě více vystihovat reálné mozaiky. Z toho důvodu byl vyzkoušen výpočet LS faktoru dle Mitášové et al. (1996). K tomu účelu byl použit model builder, který celou práci velmi usnadnil. Jedinou nevýhodou v případě ještě většího množství dat by bylo nevyřešené automatické dávkování vstupních dat. Vypočtené vrstvy však velký přínos neměly. V rastrových výstupech vystoupily pouze ta samá místa, která byla viditelná z vrstvy sklonitosti. Určitou užitečnost mají i vrstvy Flow Direction a Flow Accumulation, které by mohli predikovat směr a budoucí rozšíření i nyní jemných nerovností, které se časem mohou změnit v erozní rýhy.

K vytvoření finálních tří skupin s devíti kategoriemi velmi pomohly poznatky z práce Vohradský (2013), který mapuje a popisuje pseudomorfózy ledových klínů a následně vzniklých polygonálních sítí, kde byly popsány i další mozaiky způsobené melioračními zásahy, antropogenními reliktními tvary, erozními rýhami a akumulací fluviálního materiálu. Dále pak práce Kocuma (2018), která popisuje mozaiku na poli u obce Kleneč (ID 3 – Kleneč #1). Obě práce byly pro stanovení skupin velmi přínosné. Přesto bylo třídění vybraných lokalit do vytvořených skupin obtížné. Určit přesně jednu kategorii je mnohdy nemožné. Jen zřídka je mozaika tvořena pouze jednou příčinou. Často se jedná o kombinaci mnoha vlivů. Rozlišit pak, kdy se jedná o erozi stružkovou (potažmo rýhovou a stržovou), či plošný splach bude věcí názoru. Najdou se ryze strmé svahy, kde je prokazatelný plošný smyv, najdou se také prokazatelně vymletá místa vodní erozí. Mnohdy je to ale kombinace obojího. Jemně modelované erozní rýhy, vyplněné materiálem transportovaného vodou formou plošného smyvu. V této studii jsou tyto procesy každý zvlášť, v realitě se však často vyskytují pospolu. Voda jako taková je u vzniku naprosté většiny mozaik. Ať už se jedná o nějakou formu eroze, uloženiiny vodních toku, denudaci, kterou má opět na svědomí z velké části transport částic vodou či polygonální sítě, které vznikají v důsledku pseudomorfóz mrazových klínů, které má na svědomí jak extrémně nízká teplota, tak následně činnost vody. Dalšími činiteli jsou pak vítr, lidská činnost a pedogeneze případně degradace půdy, kde rozdíl i na poměrně malé vzdálenosti může být na úrovni typu, subtypu, variety či formy. To hlavně kvůli kolektivizaci, a nárůstu velikosti jednotlivých zemědělských pozemků. Často se tak může jeden jediný pozemek rozkládat na různorodém / svažitém terénu. Může zasahovat z terasy do nivy.

Může pokrývat místa s odlišným vývojem půdy, a to se následně odrazí na půdních vlastnostech, dále na úrodnosti a také odrazivosti na leteckých snímcích.

Jednou z prvotních myšlenek při zadávání tohoto tématu, a tudíž i jedním z cílů této práce, bylo zkoumat tvar jednotlivých půdních mozaik. Zjistit, zda by se nedaly mozaiky rozřadit pouze na základě tvaru, případně tvar samotný nějak popsat. K tomu bylo přikročeno přístupem fraktální geometrie, kdy základní teze je, že mozaiky způsobené stejnou příčinou by měly vytvářet stejné nebo sobě podobné tvary. Tvary jako takové by se daly postupným rozřazovacím stromem rozdělit na velké množství kategorií. Na tvary liniové a plošné (zřídka se vyskytují bodové, ale to zejména ve spojení s antropogenní činností), s ostrým či pozvolným přechodem, vytvářející pravidelný vzor nebo náhodně rozmístěné. Mozaiky tvořené jedním prvkem (linií či polygonem), nebo souborem sobě podobných opakujících se prvků.

Využití fraktálu se jeví jako vhodná volba, jedná se o přírodou zformované tvary často si velmi podobné, či s logickou strukturou (liniové tvary podobné rozvinuté říční síti, koruně stromů nebo kořenové soustavě). Pro tento účel musely být vytvořeny dvě sady dat, z důvodu použití dvou programů výpočtu fraktální dimenze s ohledem na jejich odlišné požadavky vstupních dat. I přes to, že druhá sada dat byla tvořena mezikrokem k získání rastrových podkladů, které sloužily jako první sada dat, byly tudíž obdobné, oba programy vypočítaly fraktální dimenzi s odlišnými výsledky. To značí na odlišný postup výpočtu. Postup používaný programe ImageJ je znám a je detailně popsán v kapitole metodika. Postup výpočtu v případě nástroje V-LATE se však nepodařilo dohledat ani v helpu daného nástroje. Jedná se přitom o stejnou metodu výpočtu (výpočet mřížkové fraktální dimenze), jenž by měla být počítána stejným způsobem. Možným vysvětlením může být odlišný počet kroků výpočtu, a tudíž přesnější proložení výsledné přímky danými hodnotami. Ponecháme-li to stranou a zaměříme se na čísla samotná, i zde jsou faktory, které určitě negativně ovlivnily výsledné hodnoty. Problém vzniká již při samotném vytváření rastrů. Ne všechny mozaiky mají ostré hranice, v takových případech je i tvorba rastru jednoduchá. Jedná-li se však o pozvolný přechod z míst tmavších do míst světlejších, je velmi subjektivní a obtížné určit, kde povede hranice vytvořené rastrové mozaiky. Není zde žádná univerzální hodnota, která by byla aplikovatelná na všechny snímky, protože po zobrazení leteckých snímků v odstínech šedi, má každý snímek hodnoty na stupnici 0 – 255 rozprostřeny jinak a odstín šedi světlých míst na snímku prvním neodpovídá odstínu šedi světlých míst na snímku druhém. Jedná se tak o subjektivní rozhodnutí, a při pokusu opakovat tento proces by mozaika

byla vytvořena určitě jinak než v tomto prvním případě, a to i přes snahu vystihnout danou mozaiku co nejpřesněji.

Odlišnosti nejsou jen mezi jednotlivými snímky, ale i v rámci snímků samotných. V případě pozemku, kde je mozaika komplexnější je problém vystihnout všechny části mozaiky. Stanovením hranice světlých a tmavých částí může být vhodné pro část mozaiky, nemusí ale odpovídat celému pozemku. Problém vzniká tam, kde tmavá část mozaiky v určité části pole, má stejné hodnoty odstínu šedi, jako světlá část mozaiky v jiné části. Stanovíme-li pouze jednu hranici mezi světlými a tmavými částmi, tak buďto část mozaiky ztratíme úplně, nebo tvar jiné části mozaiky nebude přesný, jelikož bude zahrnovat i nižší hodnoty stupně šedi, než je třeba, kvůli vystižení mozaiky v jiných částech pozemku. Dalším problémem jsou koleje vyjeté od zemědělské techniky. Ty kvůli utužení a častým pojezdům techniky neobsahují vegetaci a na mnoha snímcích tvoří světlé rovnoběžné linie skrz pozemek. To způsobuje problém v rastrových výstupech, kdy je i vytvořená mozaika (leč jinak tvarově velmi blízká skutečné) narušena bílými pruhy v různé velikosti v závislosti na měřítku, v jakém je mozaika tvořena. Vzhledem k formě výpočtu, kdy se celý pozemek pokrývá čtvercovou sítí o různých velikostech daných čtverců, mohou být některé mozaiky na počátku výpočtu při používání velmi jemných sítí tímto jevem ovlivněny. Výpočet dále pokračuje hrubšími a hrubšími sítěmi, nicméně takto vychýlené počáteční hodnoty mohou mít vliv na celkovou směrnici tečny reprezentující právě fraktální dimenzi.

Jako vhodné řešení, obzvláště při stejně velkém nebo větším množství dat se jeví použití řízených nebo neřízených klasifikací například použitím programu ENVI. Ani toto řešení se však z výše popsaných důvodů nejeví jako ideální vzhledem k tomu, že pracuje na základě spektrální odrazivosti. Ty jsou v rámci jednoho pole odlišné, i když je z leteckých snímků bez problému a okamžitě označíme za sobě si podobné. Tento postup v této práci využit nebyl, ale ze zkušeností s prací s tímto programem předpokládám, že by sice práci jako takovou urychlil, nicméně vystižení mozaik by nebylo tak přesné, jako v případě ručního hledání té nejvhodnější hranice mezi světlými a tmavými místy. V neposlední řadě je nutné zmínit možnost vektorizace zkoumaných mozaik. Ta by měla jak své výhody, jako je přesnější zachycení mozaiky bez ohledu na spektrální odrazivost, absenci vyjetých kolejí od zemědělské techniky a hladší hranice polygonů místo čtverečkových okrajů vytvořeného rastru, ale také své nevýhody, kterými i zde zůstává subjektivní určení hranic v plynule přecházejících místech z tmavších odstínů do světlých, a hlavně časová náročnost. Právě z toho důvodu tato metoda nebyla použita, protože některé mozaiky jsou velmi podrobné a jejich vektorizace

by zabrala nepřiměřeně mnoho času. Výstupem by byla polygonová vrstva, která by byla použitelná jako vstup do nástroje V-LATE, nicméně pro práci v ImageJ by tato vrstva musela být znovu převedena na vrstvu rastrovou.

K vymezení polygonů v této práci sloužily hlavně letecké snímky ve viditelném spektru a DMR 5G a jeho deriváty. Velmi užitečné by bylo využití vícepásmových snímků s možností počítání vegetačních indexů (NDVI), nebo sledovat samotné změny odrazivosti holé půdy. Volně dostupná jsou satelitní data například z družic Sentinel 2 a Landsat 7 potažmo 8. Prostorové rozlišení snímků těchto družic je však 10 m, 20 m a 60 m u družice Sentinel v závislosti na požadovaném spektrálním pásmu a 30 m snímků z družice Landsat. Takové snímky jsou užitečné k mapování půd v rozsáhlých či vzdálených a špatně přístupných místech, kde by samotné mapování bylo obtížné a finančně náročné. K postižení drobných půdních mozaik, které jsou předmětem této práce jsou tyto snímky nevhodné. Ideální způsob, jak tyto vícepásmové snímky získat s potřebnou přesností, by bylo nasnímat vybrané lokality příslušným senzorem z letadla nebo pomocí dronu, nebo získat družicové snímky s vysokým rozlišením, které poskytují data s prostorovým rozlišením od desítek centimetrů až po první metry. Takovými družicemi jsou například Pléiades, QuickBird, WorldView-2 a další. Ceny takovýchto snímků se však pohybují v řádech tisíců korun za archivní snímky a desetitisíce korun za snímky aktuální (Žížala et al. 2016b). Vzhledem k rozsahu této práce a taktéž jejím cílům, kdy je snaha všeho docílit pouze s volně dostupnými daty, je využití takovýchto snímků vyloučené.

Počet prací zkoumající půdu z výšky zkoumáním její odrazivosti je dnes předmětem více jak dvou dekad od doby, kdy například Ben-Dor (1999) začal popisovat tvary křivky odrazivosti půdy. Od té doby počet prací neustále stoupá. I tak je většina prací řešena v makro měřítku s "hrubým" prostorovým rozlišením 30 m jenž prozatím volně dostupná data nabízejí. Velmi často jsou tyto výzkumy kombinací terénních průzkumů, odebírání vzorků a analýzy satelitních snímků v již prozkoumané oblasti (Poppiel et al. 2019). Ne každá práce ale zkoumá odrazivost z výšky. Lu (2015) ve své práci v terénním průzkumu odebírá vzorky do malých kontejnerů (s průměrem 10 cm a hloubkou 2 cm) a spektrální charakteristiky následně zkoumá pomocí senzorů v laboratoři. Touto cestou by bylo vhodné vydat se i v tomto případě. Shromáždit velké množství vzorků, ty následně vyhodnotit a vytvořit tak katalog odrazivosti jednotlivých povrchů, u kterých by v atributové tabulce byly další (spolu se vyskytující) vlastnosti půdy. Pak by pomocí dronu, či senzorů umístěných v letadle, poskytujících snímky

s dostatečným prostorovým rozlišením mohly být klasifikovány půdní vlastnosti a mozaiky ve větším měřítku v relativně krátkém časovém úseku a s vysokou přesností.

Zaměříme-li se na práce zkoumající drobnější tvary / jevy je možné zmínit metodiku k monitoringu erozního poškození půd v ČR nástroji dálkového průzkumu Země (Žížala et al. 2016a). Zde jsou pomocí DPZ (a to i kvalitních vstupních dat) zkoumány mozaiky i na místech, jež byly použity i v této práci (například lokalita Šardice na jižní Moravě, která patří k erozně nejohroženějším lokalitám v ČR). Zdejší mozaika je zde zkoumána v souvislosti mírou pokročení erozních jevů, což odpovídá výsledkům této práce a zařazení těchto lokalit do skupiny [E] tj. erozní účinky vody formou plošného splachu. Zmíněná metodika půdní mozaiku klasifikuje do tříd neerodované půdy (NE), mírně erodované půdy (ME), silně erodované půdy (SE) a akumulované půdy (AC) a to na základě půdních dat z terénního šetření.

Podobné přístupy, tj. zejména využití DMR a leteckých snímků a případně kombinace s terénním průzkumem byly využity také pracích Plasová (2018) a Bek (2007). Plasová ve své práci zkoumala souvislost mozaiky na pozemku u obce Kleneč (v této práci lokalita ID 3 Kleneč #1) s mírou utužení. Tato souvislost se však prokázala jako neplatná. Není však vyloučené, že by tento vztah v jiných lokalitách za jiných podmínek nemohl nastat. Bek ve své práci pomocí DPZ a DMR mapuje výskyt koluvizemí. I to v některých místech může podporovat výskyt mozaik, viz. (Žížala et al. 2016b), kde tyto místa byla označena jako akumulované půdy. I v této práci se kombinace leteckých snímků a DMR osvědčila jako silný nástroj pro tuto problematiku. Dále Vohradský (2013) popisuje tvary a vlastnosti polygonálních sítí. Tato práce je spíše geomorfologicky zaměřena, ale stejně jako práce Kocum (2018) je přínosná tím, že vysvětluje a popisuje určitý druh mozaiky zkoumané v této práci.

Fraktální geometrie nachází své uplatnění i v pedologii. Často se s ní řeší hlavně vnitřní struktura uspořádání půdy. Ibáñez (2009) však používá mřížkovou metodu výpočtu fraktální dimenze k mapování 45 nejčastějších půdních typů v Evropě a vymezuje jejich rozdělení do pěti kategorií dle druhu a míry rozšíření (od hojně rozšířených přes lokálně hojně rozšířené po půdy vzácné). Ibáñezova práce byla tak inspirací pro tuto práci. Výsledky však nevyšly nikterak pozitivně, a proto je nutné zvolit jiný přístup, nebo stávající přístup pozměnit. Souvislost zde určitě je, jen cesta k jejímu nalezení nebyla dobře zvolena.

Letecké snímky, i když pořízené pouze v pásmu viditelného spektra jsou spolu s DMR, cenným materiálem při aktualizaci a zpřesňování map ČR. V terénu je velmi obtížné

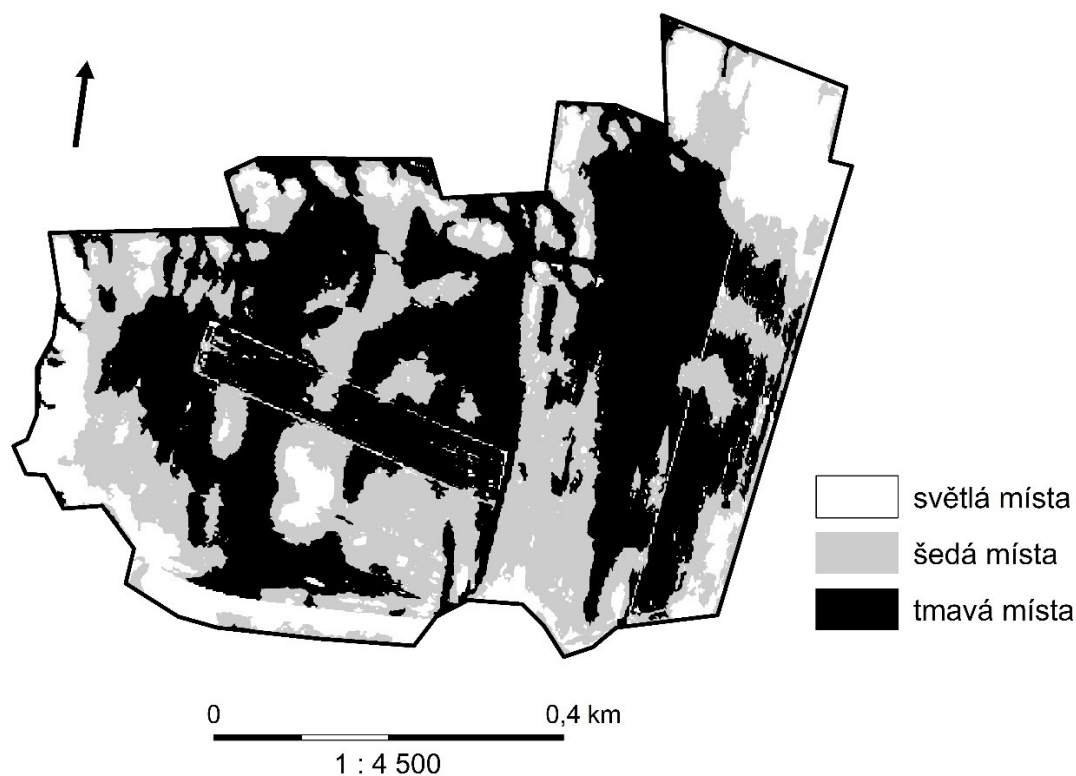
až nemožné podobné útvary zachytit a zahušťovat sít průzkumných sond by bylo zbytečně časově náročné s tím, že spousta sond by byla provedena zbytečně v rámci půdně homogenního území. Výše použité postupy by mohly napomoci vytvoření plánu, dle kterého by byly vytipovány lokality pro dodatečné půdní sondy a odběry vzorků, aby efektivita zpřesňování map byla co největší. Následně by díky leteckým snímkům či DMR mohly být zpětně upraveny polygony půdních typů. Aktuální a přesné mapy by byly přínosem v mnoha směrech. Přesná data by vedla ke zpřesnění odhadů eroze půdy. Dala by se lépe modelovat erozně ohrožená místa. Šlo by lépe odhadnout K faktor rovnice USLE (faktor erodovatelnosti půdy) v dané lokalitě, jelikož místa s rozdílnými půdními vlastnostmi a složením mají v důsledku generalizace stejný K faktor. Bylo by možné upravit katalog BPEJ.

V české republice se ceny zemědělských půd, dle účelu, stanovují dvěma způsoby. Dle průměrné ceny pozemků katastrálního území, nebo dle BPEJ. Způsob oceňování je zakotven v zákoně 151/1997 Sb. zákon oceňování majetku a v příslušných vyhláškách. Cena zemědělské půdy dle katastrálního území se stanovuje dle vyhlášky č. 298/2014 Sb. (o stanovení seznamu katastrálních území s přiřazenými průměrnými základními cenami zemědělských pozemků) ve znění vyhlášek 344/2015 Sb., 432/2016 Sb., 403/2017 Sb., 288/2018 Sb. a 318/2019 Sb. Tyto ceny se používají především pro výpočet daně z nemovitých věcí. Cena zemědělské půdy dle BPEJ je stanovena dle vyhlášky 441/2013 Sb. (Oceňovací vyhláška) s účinností od 1.1. 2014. Dále se určuje tržní cena zemědělské půdy a odhadní cena zemědělské půdy. Oba údaje jsou vypočítávány pomocí BPEJ. Odhadní cena zemědělské půdy je určena zákonem 151/1997 Sb. a vyhláškou 441/2013 Sb. Tržní cena se průměrně v České republice pohybuje v rozmezí 15 – 40 Kč/m². Kromě kvality pozemku (určené dle BPEJ), se na tržní ceně podílí také druh pozemku, poloha pozemku v krajině, atraktivita lokality, celková výměra a tvar pozemku, přístup k pozemku, pozemkové úpravy v lokalitě, konkurence mezi kupujícími v dané lokalitě aj.

Z výše zmíněného je vidět, že k odhadu / určení ceny se více či méně používají jednotky BPEJ, které jsou určitým způsobem bonitovány. K vymezení BPEJ jednotek se však používají mapy půdních typů vytvořené v KPP. Ty však obsahují nepřesnosti jenž vznikly při vymezení polygonů půdních typů pouze na základě několika málo sond a vyhodnocení expertním přístupem. BPEJ pak stejně jako KPP nevystihuje reálnou mozaiku / rozmanitost půdy v dané lokalitě a výsledná cena pak nemusí odpovídat realitě. Příkladem může být lokalita, zkoumaná v práci Kocuma (2018), u obce Kleneč v Ústeckém kraji. Zde bylo provedeno 18 sond a půdní mozaika viditelná z leteckých snímků byla popsána na základě mocnosti humusových

horizontů, resp. odlišným půdním typem. V prohlížečí službě vytvořené VÚMOPem k zobrazení jednotek BPEJ je pole rozděleno do dvou jednoduchých polygonů, kde dominantou je jednotka č. 1.04.01 (Černozemě převážně na rovině nebo úplné rovině se všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu do 25 %. Půdy hluboké až středně hluboké v teplém, suchém klimatickém regionu a málo produkční – zdroj: VÚMOP) a doplňuje ji polygon s BPEJ č. 1.01.00 (Černozemě převážně na rovině nebo úplné rovině se všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu do 10 %. Půdy hluboké v teplém, suchém klimatickém regionu a produkční – zdroj: VÚMOP). Dle sond provedených během terénního průzkumu v dané lokalitě bylo pole rozděleno do tří kategorií (Obrázek č. 31). Tyto kategorie by se daly popsat BPEJ jednotkami 1.01.00, 1.04.01 a 1.21.10 (Regozemě převážně na mírných svazích se všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu do 10 %. Půdy hluboké v teplém, suchém klimatickém regionu a velmi málo produkční – zdroj: VÚMOP). Provedeme-li kalkulaci s výše uvedenými jednotkami BPEJ a průměrnou cenovou výměrou na metr čtvereční, liší se výsledná částka o 1 326 152 Kč.

Obrázek č. 31: Rozdělení studované oblasti u obce Kleneč do kategorií dle provedených sond.



Zdroj: Kocum (2018).

Tabulka č. 11 a 12: Výpočet ceny vybrané zemědělské půdy u obce Kleneč dle BPEJ na základě HPJ v mapách BPEJ a map vytvořených v práci Kocum (2018).

Výpočet ceny pozemku dle HPJ v mapách BPEJ:

Jednotka BPEJ	Cena za 1 m ² (Kč)	Rozloha (m ²)	Výsledná cena (Kč)
1.01.00	14,57	48 285,7	703 516,8
1.04.01	6,03	392 264,3	2 365 356
	Suma	440 550	3 068 873

Výpočet ceny pozemku dle map vytvořených v práci Kocum (2018):

Jednotka BPEJ	Cena za 1 m ² (Kč)	Rozloha (m ²)	Výsledná cena
1.01.00	14,57	220 458,7	3 212 083
1.04.01	6,03	147 987,04	290 580,2
1.21.10	4,03	72 104,26	892 361,9
	Suma	440 550	4 395 025

Zdroj: Ceny za 1 m² byly stanoveny dle serveru <https://www.farmy.cz/cena-pudy/>

Tyto rozdíly se mohou pohybovat případ od případu do kladných či záporných čísel, málo kdy se však sumy budou u studovaných oblastí shodovat. Vypočtená cena pozemků, jenž se následně odráží ve výši daně z nabytí nemovitosti nebo daně z nemovitosti není sice vypočítána pouze na základě jednotek BPEJ, jsou zde další faktory ovlivňující výslednou částku, nicméně hodnota založená na přítomnosti daných půdních jednotek tvoří významnou kostru výpočtu, od které se konečná částka odvíjí a kvůli ne příliš detailním podkladovým datům nemusí vždy tyto částky odpovídat reálné kvalitě zemědělského pozemku.

6. Závěr

Všech 50 vybraných lokalit bylo analyzováno a s pomocí mnoha datových vrstev a jiných diplomových prací byla určena jejich příčina. Byla vytvořena klasifikace dle geneze daných mozaik a byly definovány tři skupiny obsahující celkem devět kategorií, do kterých byly zkoumané lokality rozříděny. Pro každou kategorii byly popsány tvary příslušné mozaiky, jejich geneze a typy míst, na kterých se nejčastěji vyskytují. Za hlavní činitele těchto mozaik

lze vyzdvihnout (vodní) erozi půdy, výskyt heterogenních sedimentů a lidskou činnost. Bylo také poukázáno na komplexitu mozaik, kdy většina je tvořena kombinací více než jedné příčiny. V naprosté většině případů se však vždy jedná o mozaiku způsobenou jednou hlavní příčinou, která je dokreslena dalšími faktory. Pouze občas zde konkurují dvě hlavní příčiny vzniku.

Dále byly mozaiky podrobeny analýzám tvaru, konkrétně výpočtu jejich fraktální dimenze za pomoci mřížkové metody. Tento výpočet byl proveden dvěma různými programy. I přes více méně stejná vstupní data a totožnou analýzu byly výsledky odlišné. Následná analýza výsledků fraktální dimenze nevedla k rozdělení hodnot do shluků a nebyla tudíž prokázána ani korelace s výše popsanou vytvořenou klasifikací.

Tato práce ukazuje, jak by mohlo být postupováno při aktualizaci stávajících pedologických map, kdy by podobný postup mohl napomoci k vytvoření plánu stanovení vhodných lokalit pro dodatečné provedení pedologických sond, které by byly v terénu třeba udělat pro zpřesnění mapových podkladů. Přesnější pedologické mapy by zpřesnily další podklady z těchto map vycházející, například mapy BPEJ, nebo odhady míry eroze díky lepšímu prostorovému odhadu K faktoru, jež je ovlivněn půdními vlastnostmi, které nejsou zdaleka tak prostorově homogenní, jak současné mapy uvádějí.

Možné rozšíření této práce může spočívat ve vytvoření katalogu odrazivosti jednotlivých povrchů půdy s odlišnými vlastnostmi a následně sbírat a vyhodnocovat data sbíraná pomocí senzoru umístěného na letadle nebo UAV. Získat tak další vrstvu cenných dat a moci tak zachytit půdní mozaiky i v době, kdy to běžné ortofota nedokáží. Dále by bylo vhodné použít jiný přístup výpočtu fraktální dimenze, nebo změnit ten stávající. V této práci se žádná závislost nepotvrdila, ale intuitivní vztahy mezi jednotlivými tvary zde jsou patrné.

Ne všechny předem stanovené cíle se podařilo naplnit. Přístup k vyhodnocení snímků fraktální dimenzí nebyl zřejmě dobře uchopen, nepodařilo se jednotlivé mozaiky roztrždit, a tudíž porovnat třídění dle vytvořené klasifikace a vlastností tvaru (fraktální dimenze). I přesto považuji práci za vydařenou s potenciálem pro budoucí využití a prostorem pro další rozšíření.

7. Literatura

- [1] ALLARD, M. et al. (1998): *Temperature conditions for ice-wedge cracking: field measurements from Salluit, northern Québec*. PERMAFROST – Seventh International Conference (Proceedings), Yellowknife (Canada). Collection Nordicana. vol. 55. str. 5-11
- [2] ARROUAYS, D. et al. (2014): *GlobalSoilMap: toward a fine-resolution global grid of soil properties*. Advances in Agronomy. vol. 125. str. 93-134
- [3] ATZBERGER, C. (2002): *Soil optical properties – A review*. University of Trier, Remote Sensing Department. Germany. Tech. rep. D-54286
- [4] BATTY, M. et al. (1994): *Fractal Cities: A Geometry of Form and Function*. Academic Press Ltd. London. 394 s. ISBN 0124555705
- Dostupné z: <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1370661/>
- [5] BARNESLEY, M. et al. (1993): *Fractal everywhere*. Academic Press. San Diego. 2. vyd. 548 s. ISBN 9781483257693
- [6] BEK, S. (2007): *Digitální mapování koluvizemí*. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie. Praha.
- [7] BEN-DOR, E. et al. (1999): *Soil reflectance*. Publikováno v: RENCZ, A. et al. (1999): *Remote Sensing for the Earth Science*. 728 s. str. 111-188. ISBN 978-0-471-29405-4
- [8] BIRCHER, P. et al. (2019): *Comparing different multiple flow algorithms to calculate RUSLE factors of slope length (L) and slope steepness (S) in Switzerland*. Geomorphology. vol. 346
- [9] BREVIK, E. C. et al. (2010): *Early soil knowledge and the birth and development of soil science*. Catena. vol. 83, str. 23–33
- [10] BREVIK, E. C. et al. (2017): *Historical Perspectives on Soil Mapping and Process Modeling for Sustainable Land Use Management*. Elsevier. Str. 28 ISBN: 978-0-12-805200-6
- [11] BUI, E. N. et al. (2001): *Disaggregation of polygons of surficial geology and soil maps using spatial modelling and legacy data*. Geoderma. vol. 103 (1–2), str. 79–94

- [12] CANIEGO, F. J. et al. (2005): *Multifractal scaling of soil spatial variability*. Ecological Modeling, vol. 182, str. 291–303
- [13] CASTRO FRANCO, M. et al. (2015): *Prediction of soil properties at farm scale using a model-based soil sampling scheme and random Forest*. Soil Science, vol. 180, str. 1-12
- [14] CASTRO FRANCO, M. et al. (2018): *A pedometric technique to delimitate soil-specific zones at field scale*. Geoderma, vol. 322, str. 101-111
- [15] CYREK, J. (2016): *Porovnání výškopisných modelů ČR pro výpočet vodní eroze v okolí obce Horní Dunajovice*. Diplomová práce. Mendelova Univerzita, Ústav hospodářské úpravy lesů a aplikované geoinformatiky. Brno.
- [16] CZUDEK, T. (1986): *Pleistocenní permafrost na území Československa*. Geografický časopis, vol. 38, str. 245-252
- [17] CZUDEK, T. (2005): *Vývoj reliéfu krajiny České republiky v kvartéru*. 1. vyd. Moravské zemské muzeum. Brno. 238 s. ISBN 80-7028-270-3
- [18] ČEPOVÁ, D. (2012): *Softwarové možnosti výpočtu fraktální dimenze geografických jevů*. Bakalářská práce. Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta, Katedra geoinformatiky. Olomouc
- [19] DEMEK, J. (1989): *Karst processes in cold climate (on the example of the Moravian Karst)*. Czech Speleol. Soc., 1986-1989. Published on the occasion of the 10th Intern. Speleol. Congress, Hungary. str. 18-21
- [20] DENNY, G. (1992): *Encounters with chaos*. McGraw-Hill, Inc., San Francisco ISBN 0-07-025203-3
- [21] DESMET, P. J. J. et al. (1996): *A GIS procedur efor automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units*. Journal of Soil and Water Conservation, vol. 51, str. 427-433
- [22] DOKUCHAEV, V. V. (1883): *Russian Chernozem: Selected Works of V. V. Dokuchaev*. vol. 1. Program for Scientific Translations. Jerusalem (translated in 1967)
- [23] DOSTÁL, T. et al. (2001): *Mapa erozní ohroženosti půd a transportu sedimentu v České republice*. Dílčí zpráva projektu VaV/510/4/98 za rok 2001, koordinátor VÚV TGM Praha, ČVUT, Praha

- [24] EGLASH, R. (1999): *African Fractals: modern computing and indigenous design*. Rutgers. University Press. ISBN 0-8135-2614-0
- [25] FAYAS, C. M. et al. (2019): *Soil loss estimation using RUSLE model to prioritize erosion control in Kelani river basin Sri Lanka*. International Soil and Water Conservation Research. vol. 7. str. 130-137
- [26] FENG, T. et al. (2016): *Soil erosion rates in two karst peak-cluster depression basins of northwest Guangxi, China: Comparison of the RUSLE model with ¹³⁷Cs measurements*. Geomorphology. vol. 253. str. 217-224
- [27] FRAISSE, C. et al. (2001): *Delineation of site-specific management zones by unsupervised classification of topographic attributes and soil electrical conductivity*. Trans. ASAE. vol. 44 (1), str. 155–166
- [28] FRENCH, H. M. (2007): *The Periglacial Environment*. 3. vyd. Chichester: John Wiley & Sons, xviii. 458 s. ISBN-13 978-0470865897
- [29] GHOLIZADEH, A. et al. (2018): *Soil organic carbon and texture retrieving and mapping using proximal, airborne and Sentinel-2 spectral imaging*. Remote Sensing of Environment. vol. 218, str. 89-103
- [30] GOJDA, M. (2004): *Letecká archeologie a dálkový průzkum*. Publikováno v: KUNA, M. (2004): *Nedestruktivní archeologie: teorie, metody a cíle*. 1. vyd. Praha: Academia, 555 s. str. 49–112. ISBN 80-200-1216-8
- [31] GONG, Z. et al. (2003): *Origin and development of soil science in ancient China*. Geoderma. vol. 115. str. 3–13
- [32] GOUDIE, A. (2004): *Encyclopedia of Geomorphology*. 1. vyd. London: Routledge, Ltd., 1156 s. ISBN 0-415-32737-7
- [33] GUBER, A. K. (2005): *Fractal mass-size scaling of wetting soil aggregates*. Ecological Modeling. vol. 182. str. 317-322
- [34] HARTEMINK, A. E. et al. (2013): *Soil maps of the world*. Geoderma vol. 208, 256-267.
- [35] HEINÍK, J. (2007): *Fraktály v počítačové grafice*. Diplomová práce. Vysoké Učení Technické. Brno
- [36] HEMPEL, J. et al. (2008): *Challenges to digital soil mapping, Digital Soil Mapping with Limited Data*. Springer. str. 81–90

- [37] HILLEL, D. (1991): *Out of the Earth: Civilization and the Life of the Soil*. University of California Press, Berkeley, CA. ISBN 0520080807
- [38] HOLÝ, M. (1994): *Eroze a životní prostředí*. 1. vyd. ČVUT. Praha. 283 s. ISBN 80-01-01078-3
- [39] HOTAŘ, V. (2008): *Metodika popisu průmyslových dat pomocí fraktální geometrie*. 1. vyd. Technická univerzita. Liberec. 178 s. ISBN 978-80-7372-431-3
- [40] HOUBA, A. et al. (1976): *Klasifikační systém půd*. ÚHÚL Brandýs n.L., 29 s.
- [41] HYATT, J. A. et al. (1990): *Reconstruction of Holocene periglacial environments in the Pangnirtung area based on ice wedge characteristics*. Proceedings of the Fifth Canadian Permafrost Conference. Collection Nordicana, 54. s. str. 17–21
- [42] HU, Q. et al. (2020): *Machine learning and fractal theory models for landslide susceptibility mapping: Case study from the Jinsha river basin*. Geomorphology. vol. 351
- [43] CHLUPÁČ, I. et al. (2002): *Geologická minulost České republiky*. Praha: Academia 436 s. ISBN 80-200-0914-0
- [44] IBÁÑEZ, J. J. et al. (2009): *The spatial distribution of soil across Europe: A fractal approach*. Ecological Complexity. Vol. 6, str. 294-301
- [45] JANEČEK, M. (2008): *Základy erodologie*. 1. vyd. Česká zemědělská Univerzita. Praha. 165 s. ISBN 978-80-213-1842-7
- [46] JENSEN, C. T. et al. (2007): *Soil resources of the Motul De San José Maya: correlating Soil Taxonomy and modern Itzá Maya soil classification within a classic Maya archaeological zone*. Geoarchaeology. vol. 22 (3), str. 337–357
- [47] JENNY, H. (1941): *Factors of soil formation*. Publikováno v: *A System of Quantitative Pedology*. McGraw-Hill Book Company. London
- [48] JIANG, L. et al. (2016): *Multi-fractal scaling comparison of the air temperature and the surface temperature over China*. Physica A. vol. 462, str. 783-792
- [49] JING, Z. et al. (2020): *Using multi-fractal analysis to characterize the variability of soil physical properties in subsided land in coal-mined area*. Geoderma. vol. 361
- [50] KADLEC, V. (2014): *Navrhování technických protierozních opatření: metodika*. 1. vyd. VÚMOP. Praha. 101 s. ISBN 978-80-87361-29-0

- [51] KOCUM, J. (2018): *Dálkový průzkum jako indikátor změn struktury půdního pokryvu*. Bakalářská práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie. Praha
- [52] KOLÁŘ, J. (2008): *Principy fungování a využívání pozorovacích satelitů*. Czech Space Office. Praha. 62 s. ISBN 978-80-904163-5-2
- [53] KRUPENIKOV, I. A. (1992): *History of Soil Science from its Inception to the Present*. Oxonian Press, New Delhi.
- [54] LACHENBRUCH, A. H. (1962): *Mechanics of thermal contraction cracks and ice-wedge polygons in permafrost*. Geological Survey of America Special Papers. Baltimore. 70 s. str. 1–66
- [55] LACHENBRUCH, A. H. (1966): *Contraction theory of ice-wedge polygons: a qualitative discussion*. Publikováno v: National Research Council of Canada publication 1287. Permafrost International Conference Proceedings. Washington DC: National Academy of Sciences, str. 63-71
- [56] LIU, X. et al. (2009): *Fractal features of soil particle-size distribution as affected by plant communities in the forested region of Mountain Yimeng, China*. Geoderma. vol. 154, str. 123–130
- [57] LU, Y. et al. (2015): *Hyper-spectral characteristics and classification of farmland soil in northeast of China*. Journal of Integrative Agriculture. vol. 14, str. 2521-2528
- [58] MANDELROT, B. B. (2003): *Fraktály: tvar, náhoda a dimenze*. 1. vyd. Mladá Fronta. Praha. 206 s. ISBN 80-204-1009-0
- [59] MARTÍNEZ-MURILLO, J. F. et al. (2020): *Validation of RUSLE K factor using aggregate stability in contrasted mediterranean eco-geomorphological landscapes (southern Spain)*. Environmental Research. vol. 183
- [60] MARBUT, C. F. (1992): *Soil classification*. Am. Soil Surv. Assoc. Bull. B3, str. 24–33
- [61] McBRATNEY, A. et al. (2003): *On digital soil mapping*. Geoderma. vol. 117(1–2), str. 3-52.
- [62] McBRATNEY, A. et al. (2019): *Pedometrics timeline*. Geoderma. vol. 338, str. 568-575
- [63] McCOOL, D. K. et al. (1989): *Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation*. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, vol. 32, str. 1571–1576

- [64] McKENZIE, N. J. et al. (1993): *A quantitative Australian approach to medium and small scale surveys based on soil stratigraphy and environmental correlation*. Geoderma. vol. 57, str. 329–355.
- [65] MERCIER, J. L. et al. (2002): *Report on radiometric ^{10}Be dating of glacial and periglacial landforms in the Giant Mountains*. Opera corcontica. vol. 39, str. 169-174
- [66] MILLER, B. A. et al. (2014): *The historical role of base maps in soil geography*. Geoderma. vol. 230, str. 329–339
- [67] MITAŠOVÁ, H. et al. (1996): *Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS*. International Journal of GIS 10. vol. 5, str. 629–641
- [68] MOLZ, F. et al. (2006): *A new type of stochastic fractal for application in subsurface hydrology*. Geoderma. vol. 134, str. 274-283
- [69] MONTERO, E. (2005): *Renyi dimensions analysis of soil particle-size distributions*. Ecological Modeling. vol. 182, str. 305–315
- [70] MOORE, I. D. et al. (1993): *Soil attribute prediction using terrain analysis*. Soil Sci. Soc. Am. J. vol. 57, str. 443-452
- [71] MURDYCH, Z. (1985): *Dálkový průzkum Země*. 1. vyd. Praha: Academia. 142 s.
- [72] MURTON, J. B. (2007): *Periglacial Landforms/Ice Wedges and Ice Wedge Casts*. Publikováno v: ELIAS, S. A. (2007): *Encyclopedia of quaternary science*. 1. vyd. Amsterdam: Elsevier. 3365 s. ISBN 978-0-444-51919-1
- [73] NEARING, M. A. (1997): *A single, continuous function for slope steepness influence on soil loss*. Soil Science Society of America Journal. vol. 61, str. 917–919
- [74] NEDVĚD, J. (2010): *Fraktál v sekvenci DNA*. Bakalářská práce. Vysoké učení technické, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Brno
- [75] NĚMEČEK, J. et al. (1989): *Pedologie a paleopedologie*. Praha: Academia, 552 s. ISBN 80-200-0153-0. Podkapitola Americká klasifikace. str. 193–197
- [76] NĚMEČEK, J. et al. (2001): *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky*. ČZU. Praha spolu s VÚMOP Praha. 78 s.
- [77] NĚMEČEK, J. et al. (2011): *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky*. 2. vyd.

- [78] NITZE, I. et al. (2012): *Comparison of machine learning algorithms random forest, artificial neural network and support vector machine to maximum likelihood for supervised crop type classification*. Publikováno v: Proc. of the 4th GEOBIA, 7–9
- [79] OBU, J. et al. (2019): *Northern Hemisphere permafrost map based on TTOP modelling for 2000-2016 at 1 km² scale*. Earth-Science Reviews. vol. 193, str. 299-316
- [80] PLASOVÁ, M. (2018): *Využití penetrometru k vyhodnocení míry utužení zemědělských půd v modelovém území*. Bakalářská práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie. Praha
- [81] POPPIEL, R. R. et al. (2019): *Soil class map of the Rio Jardim watershed in Central Brazil at 30 meter spatial resolution based on proximal and remote sensed data and MESMA method*. Data in Brief. vol. 25
- [82] PENÍŽEK, V. et al. (2016): *Influence of Elevation Data Resolution on Spatial Prediction of Colluvial Soils in a Luvisol Region*. PLoS ONE. vol. 11
- [83] PÉREZ, L. D. et al. (2010): *Spatial complexity of soil plow layer penetrometer resistance as influenced by sugarcane harvesting: A prefractal approach*. Soil & Tillage Research. vol. 110, str. 77-86
- [84] PÉWÉ, T. L. (1975): *Geological Survey Professional Paper. Quaternary geology of Alaska*. Washington, D. C.: U. S. Government Printing. Office. vol. 835, 145 s. ISBN 024-001-02685-6
- [85] RENARD, K. G. et al. (1993): *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. U.S. Department of Agriculture
- [86] RŮŽIČKOVÁ, E. et al. (1992): *The Blahutovice – I borehole near Hranice na Moravě: weathering effect in Badenian deposit*. Publikováno v: CZUDEK, T. (2005): *Vývoj reliéfu krajiny České republiky v kvartéru*. 1. vyd. Moravské zemské muzeum. Brno. str. 128–132. 238 s. ISBN 80-7028-270-3
- [87] SHEN, X. et al. (2011): *Fractal characteristics of the main channel of Yellow River and its relation to regional tectonic evolution*. Geomorphology. vol. 127, str. 64-70
- [88] SUMMERFIELD, M. A. (1991): *Global geomorfology: an introduction to the study of landforms*. 4. vyd. Harlow: Pearson/Prentice Hall. 537 s. ISBN 0-582-30156-4

- [89] TAKTIKOU, E. et al. (2016): *Prediction of Soil Moisture from Remote Sensing Data*. Procedia Engineering. vol. 162. str. 309-316
- [90] TIŠNOVSKÝ, P. (1999): *Interaktivní editor afinních transformací*. Diplomová práce. Vysoké Učení Technické. Fakulta Informačních Technologií. Brno
- [91] TIŠNOVSKÝ, P. (2005): *Fraktály v počítačové grafice*. ISSN 1212-8309. Dostupné z: <http://www.root.cz/serialy/fraktaly-vpocitacove-grafice/>
- [92] TROEH, F. R. et al. (2004): *Soil and Water Conservation for Productivity and Environmental Protection*. 4. vyd. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ
- [93] VOHRADSKÝ, L. (2013): *Rozšíření a morfologie polygonálních sítí pseudomorfóz mrazových a ledových klínů na území ČR*. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie. Praha
- [94] VOKOUN, J. et al. (1993): *Klasifikační systém lesních půd*. ÚHÚL Brandýs nad Labem, 54 s.
- [95] VTOROV, I. P. (2014): *The role of geology in the development of soil science: from Lomonosov to Dokuchaev*. 39th INHIGEO Symposium (6-10 Jul. 2014) Pacific Grove: INHIGEO. P. 6
- [96] VYSLOUŽILOVÁ, B. et al. (2012): *Modelování erozních a sedimentačních procesů v malém povodí*. Geografie. vol. 2. roč. 117
- [97] WANG, X. et al. (2018): *New methods for improving the remote sensing estimation of soil organic matter content (SOMC) in the Ebinur Lake Wetland National Nature Reserve (ELWNNR) in northwest China*. Remote Sensing of Environment. vol. 218, str. 104-118
- [98] WELLS, E. C. et al. (2010): *Ancient Maya perceptions of soil, land, and Earth*. Publikováno v: LANDA, E. R. et al. (2010): *Soil and Culture*. Springer Science + Business Media, Berlin, str. 311–327
- [99] WISHMEIER, W. H. et al. (1978): *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning*. USDA, Agriculture handbook 537 s. US Dept. of Agriculture, Washington, DC
- [100] WOODWARD, D. et al. (2007): *History of Cartography, Volume 3 - Cartography in the European Renaissance*. part 2. Chicago: The University of Chicago Press. ISBN 9780226907321.

- [101] YADAV, G. S. et al. (2019): *Long-term effects of Different Passages of vehicular traffic on soil properties and carbon storage of a Crosby Silt Loam in USA*. *Pedosphere*. vol. 29, str. 150-160
- [102] ZÁDOROVÁ, T. et al. (2011): *Spatial delineation of organic carbon-rich Colluvial soils in Chernozem region by Terrain analysis and fuzzy cassification*. *Catena*. vol. 85, str. 22-33
- [103] ZÁDOROVÁ, T. et al. (2020): *Harmonisation of a large-scale historical database with the actual Czech soil classification system*. *Soil & Water Res.* vol. 15, str. 101-115
- [104] ZELINKA, I. et al. (2006): *Fraktální geometrie principy a aplikace*. Praha: BEN - technická literatura. 160 stran, ISBN 80-7300-191-8
- [105] ŽÍŽALA, D. et al. (2016a): *Monitoring erozního poškození půd v ČR nástroji dálkového průzkumu Země*. Certifikovaná metodika, VÚMOP, v.v.i., Praha. ISBN: 978-80-87361-63-4
- [106] ŽÍŽALA, D. et al. (2016b): *Využití obrazových spektrálních dat při výzkumu eroze*. Publikováno v: GIS LZE Mendelova univerzita v Brně. Sborník příspěvků z konference. ISBN 978-80-7509-414-8
- [107] ŽÍŽALA, D. et al. (2019): *Soil Organic Carbon Mapping Using Multispectral Remote Sensing Data: Prediction Ability of Data with Different Spatial and Spectral Resolution*. *Remote Sensing*. vol. 24. ISSN: 2072-4292

Internetové zdroje

- [1] VÚMOP – aplikace KPP a BPEJ, mapové podklady a další zdroje dostupné z:
KPP:
<https://kpp.vumop.cz>
BPEJ:
<https://bpej.vumop.cz/>
Mapové podklady:
https://www.vumop.cz/sites/default/files/20130529_katalogmap_ohrozenost_vodni_erozi.pdf
Encyklopedie:
https://encyklopedie.vumop.cz/index.php/TEORETICK%C3%89_MINIMUM_K_VODN%C3%8D_EROZI
- [2] ČÚZK – WMS a Image služby dostupné z:
WMS Ortofoto:
https://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_PUB/WMSservice.aspx
WMS DMR 5G:
<http://ags.cuzk.cz/arcgis2/services/dmr5g/ImageServer/WMSserver?request=GetCapabilities&service=WMS>
Image služba DMR:
<http://ags.cuzk.cz/arcgis2/rest/services/dmr5g/ImageServer>
- [3] Seznam.cz a.s. – podkladové mapy dostupné z:
<https://www.mapy.cz>
- [4] Mezinárodní klasifikace FAO dostupná z:
<http://www.fao.org/3/i3794en/i3794en.pdf>
- [5] USDA Soil Taxonomy dostupné z:
https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051232.pdf
- [6] Taxonomický klasifikační systém půd ČR dostupný z:
<https://klasifikace.pedologie.czu.cz/index.php?action=showPorovnaniTaxonomii>
- [7] ČMSZP Výhledová zpráva Půda 2018 dostupná z:
<http://cmszp.cz/mze/2019/situacni-a-vyhledova-zprava-puda-2018/>
- [8] Program ImageJ dostupný z:
<https://imagej.nih.gov/ij/download.html>
- [9] Nástroj V-LATE 2.0 dostupný z:
<https://www.sites.google.com/site/largylate/gis-tools/v-late>
- [10] Ceny zemědělské půdy dostupné z:
<https://www.farmy.cz/cena-pudy/>
- [11] Obrázek Kochovy křivky dostupná z:
http://www.geneze.info/pojmy/images/kochova_krivka.png

8. Přílohy

Seznam obrázků

Obr. č. 1:	Vybraná lokalita ID 1 – Benátky #1	str. 5
Obr. č. 2:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 1	str. 5
Obr. č. 3:	Vybraná lokalita ID 2 – Hradčany #1	str. 6
Obr. č. 4:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 2	str. 6
Obr. č. 5:	Vybraná lokalita ID 3 – Kleneč #1	str. 7
Obr. č. 6:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 3	str. 7
Obr. č. 7:	Vybraná lokalita ID 4 – Kleneč #2	str. 8
Obr. č. 8:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 4	str. 8
Obr. č. 9:	Vybraná lokalita ID 5 – Kleneč #3	str. 9
Obr. č. 10:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 5	str. 9
Obr. č. 11:	Vybraná lokalita ID 6 – Kleneč #4	str. 10
Obr. č. 12:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 6	str. 10
Obr. č. 13:	Vybraná lokalita ID 7 – Kleneč #5	str. 11
Obr. č. 14:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 7	str. 11
Obr. č. 15:	Vybraná lokalita ID 8 – Kleneč #6	str. 12
Obr. č. 16:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 8	str. 12
Obr. č. 17:	Vybraná lokalita ID 9 – Kleneč #7	str. 13
Obr. č. 18:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 9	str. 13
Obr. č. 19:	Vybraná lokalita ID 10 – Kleneč #8	str. 14
Obr. č. 20:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 10	str. 14
Obr. č. 21:	Vybraná lokalita ID 11 – Kleneč #9	str. 15
Obr. č. 22:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 11	str. 15
Obr. č. 23:	Vybraná lokalita ID 12 – Kotlasy #1	str. 16
Obr. č. 24:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 12	str. 16
Obr. č. 25:	Vybraná lokalita ID 13 – Kotlasy #2	str. 17
Obr. č. 26:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 13	str. 17
Obr. č. 27:	Vybraná lokalita ID 14 – Kotlasy #3	str. 18
Obr. č. 28:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 14	str. 18
Obr. č. 29:	Vybraná lokalita ID 15 – Krpy #1	str. 19
Obr. č. 30:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 15	str. 19
Obr. č. 31:	Vybraná lokalita ID 16 – Krpy #2	str. 20
Obr. č. 32:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 16	str. 20
Obr. č. 33:	Vybraná lokalita ID 17 – Krpy #3	str. 21
Obr. č. 34:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 17	str. 21
Obr. č. 35:	Vybraná lokalita ID 18 – Krpy #4	str. 22
Obr. č. 36:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 18	str. 22
Obr. č. 37:	Vybraná lokalita ID 19 – Krpy #5	str. 23
Obr. č. 38:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 19	str. 23
Obr. č. 39:	Vybraná lokalita ID 20 – Lužice #1	str. 24
Obr. č. 40:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 20	str. 24
Obr. č. 41:	Vybraná lokalita ID 21 – Lužice #2	str. 25
Obr. č. 42:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 21	str. 25
Obr. č. 43:	Vybraná lokalita ID 22 – Lysá #1	str. 26
Obr. č. 44:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 22	str. 26

Obr. č. 45:	Vybraná lokalita ID 23 – Lysá #2	str. 27
Obr. č. 46:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 23	str. 27
Obr. č. 47:	Vybraná lokalita ID 24 – Lysá #3	str. 28
Obr. č. 48:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 24	str. 28
Obr. č. 49:	Vybraná lokalita ID 25 – Milotice #1	str. 29
Obr. č. 50:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 25	str. 29
Obr. č. 51:	Vybraná lokalita ID 26 – Milotice #2	str. 30
Obr. č. 52:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 26	str. 30
Obr. č. 53:	Vybraná lokalita ID 27 – Račice #1	str. 31
Obr. č. 54:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 27	str. 31
Obr. č. 55:	Vybraná lokalita ID 28 – Račice #2	str. 32
Obr. č. 56:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 28	str. 32
Obr. č. 57:	Vybraná lokalita ID 29 – Račice #3	str. 33
Obr. č. 58:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 29	str. 33
Obr. č. 59:	Vybraná lokalita ID 30 – Račice #4	str. 34
Obr. č. 60:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 30	str. 34
Obr. č. 61:	Vybraná lokalita ID 31 – Robeč #1	str. 35
Obr. č. 62:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 31	str. 35
Obr. č. 63:	Vybraná lokalita ID 32 – Šardice #1	str. 36
Obr. č. 64:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 32	str. 36
Obr. č. 65:	Vybraná lokalita ID 33 – Šardice #2	str. 37
Obr. č. 66:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 33	str. 37
Obr. č. 67:	Vybraná lokalita ID 34 – Šardice #3	str. 38
Obr. č. 68:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 34	str. 38
Obr. č. 69:	Vybraná lokalita ID 35 – Šardice #4	str. 39
Obr. č. 70:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 35	str. 39
Obr. č. 71:	Vybraná lokalita ID 36 – Šardice #5	str. 40
Obr. č. 72:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 36	str. 40
Obr. č. 73:	Vybraná lokalita ID 37 – Šardice #6	str. 41
Obr. č. 74:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 37	str. 41
Obr. č. 75:	Vybraná lokalita ID 38 – Šardice #7	str. 42
Obr. č. 76:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 38	str. 42
Obr. č. 77:	Vybraná lokalita ID 39 – Šardice #8	str. 43
Obr. č. 78:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 39	str. 43
Obr. č. 79:	Vybraná lokalita ID 40 – Štěpánovice #1	str. 44
Obr. č. 80:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 40	str. 44
Obr. č. 81:	Vybraná lokalita ID 41 – Štěpánovice #2	str. 45
Obr. č. 82:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 41	str. 45
Obr. č. 83:	Vybraná lokalita ID 42 – Štěpánovice #3	str. 46
Obr. č. 84:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 42	str. 46
Obr. č. 85:	Vybraná lokalita ID 43 – Štěpánovice #4	str. 47
Obr. č. 86:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 43	str. 47
Obr. č. 87:	Vybraná lokalita ID 44 – Štěpánovice #5	str. 48
Obr. č. 88:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 44	str. 48
Obr. č. 89:	Vybraná lokalita ID 45 – Šumperk #1	str. 49
Obr. č. 90:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 45	str. 49
Obr. č. 91:	Vybraná lokalita ID 46 – Šumperk #2	str. 50
Obr. č. 92:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 46	str. 50

Obr. č. 93:	Vybraná lokalita ID 47 – Těmice #1	str. 51
Obr. č. 94:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 47	str. 51
Obr. č. 95:	Vybraná lokalita ID 48 – Těmice #2	str. 52
Obr. č. 96:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 48	str. 52
Obr. č. 97:	Vybraná lokalita ID 49 – Těmice #3	str. 53
Obr. č. 98:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 49	str. 53
Obr. č. 99:	Vybraná lokalita ID 50 – Těmice #4	str. 54
Obr. č. 100:	Vygenerovaná mozaika lokality ID 50	str. 54