

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra pedologie a ochrany půd



**Harmonizace půdních map s využitím principů
digitálního mapování půd**

Diplomová práce

Autor práce: Barbora Eiglová

Obor studia: Rozvoj venkovského prostoru

Vedoucí práce: prof. Dr. Ing. Luboš Borůvka

© 2017 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Harmonizace půdních map s využitím principů digitálního mapování půd" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne _____

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala prof. Dr. Ing. Luboši Borůvkovi za jeho cenné rady, ochotu při vedení mé diplomové práce a pomoc při získání potřebných informací a podkladů. Také bych ráda poděkovala doc. Ing. Vítu Penížkovi, Ph.D., a RNDr. Oldřichu Vackovi, CSc., za pomoc při přípravě vstupních údajů.

Harmonizace půdních map s využitím principů digitálního mapování půd

Souhrn

Tato diplomová práce se zabývá porovnáním stávajících map a vytvořením jednotných půdních map (harmonizací) s využitím principů digitálního mapování půd (DMP) se zaměřením na okres Domažlice.

V první části práce se nachází stručné seznámení s historií půdního mapování, společně s možnostmi mapování půd (tradiční půdní průzkum, digitální mapování). Další část se věnuje okresu Domažlice podrobněji. Zvolený okres je zde popsán z pohledu geologie, geomorfologie, geografie, pedologie i vegetace. Diplomová práce se dále zabývá výsledky zkoumání vztahů půd a přírodních podmínek v tomto okrese. Tyto výsledky jsou zpracovány a graficky znázorněny.

Cílem této diplomové práce je zhodnotit vztah mezi doplňkovými údaji a půdními jednotkami, umožňující vytvořit jednotnou (harmonizovanou) půdní mapu pro zvolené území.

Analyzovaný je okres Domažlice, pro který jsou vytvořeny a vybrány nejvhodnější modely pro predikci půdních jednotek z doplňkových údajů (svažitost, orientace vůči světovým stranám, vegetace, vertikální zakřivení atd.).

Vzniklá mapa Domažlického okresu poukazuje na nesoulad mezi původními mapami a mapami získanými za pomoci DMP. Nejčastěji zaměňovanými půdní typy jsou gleje za pseudogleje. Vytvořená mapa se ale ve velké míře shoduje s původními mapami.

Klíčová slova: půdní mapy, digitální mapování půd, doplňkové údaje, predikční modely, okres Domažlice, půdní typy

Harmonization of soil maps using the digital soil mapping principles

Summary

This diploma thesis is focused on comparison of current maps and creation of unified (harmonized) soil maps using the principles of digital soil mapping (DMP) with focus on the district of Domažlice.

In the first part of the thesis, brief introduction to history of soil mapping is presented, along with options of soil mapping (traditional soil survey, digital mapping). Following part of the thesis is focused on the district of Domažlice in further detail. Chosen district is described from the perspective of geology, geomorphology, geography, pedology and vegetation. Diploma thesis is further dealing with problematics of research of relations between soil and natural conditions in the district. These results are further elaborated and graphically depicted.

The aim of the diploma thesise is to evaluate the relationships between auxiliary data and soil units, to further create an unified (harmonized) soil map for the chosen district.

Analyzed region is the district of Domažlice, for which the most suitable models are created and selected for the prediction of soil units from the complementary data (slope, aspect, vegetation, cross-sectional curvature, etc).

The created map of the Domažlice district points out the inconsistency between the original maps and the maps that were created through the DSM. The most frequent discrepancies were that of gley and pseudogley. Nevertheless, the final map corresponds with a great degree to the original maps.

Keywords: soil maps, digital soil mapping, auxiliary data, predictive models, Domažlice district, soil types

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce.....	2
3	Literární rešerše	3
3.1	Stručná historie mapování půd	3
3.2	Tradiční půdní průzkum	4
3.2.1	Mapa půd České republiky 1:50 000	4
3.3	Digitální mapování půd.....	5
3.3.1	Rozdíl mezi digitalizovanou a digitální mapou	6
3.3.2	Znázornění digitálních půdních map	7
3.3.3	Digitální model reliéfu	7
3.3.4	Aktuálnost dat.....	8
3.3.5	Harmonizace dat	9
3.4	Základní charakteristika půdních typů	10
4	Metodika	13
4.1	Domažlicko.....	13
4.1.1	Geografie	13
4.1.2	Geomorfologie	13
4.1.3	Hydrologie.....	16
4.1.4	Vegetace	16
4.1.5	Geologie	18
4.1.6	Pedologie	19
4.2	Popis použitých metod	19
5	Výsledky	21
5.1	Analýza prostorového rozložení půdních typů.....	21
5.2	Porovnání stávajících půdních map	38
5.3	Tvorba modelů	42
5.4	Výsledná mapa.....	43
6	Diskuze	46
7	Závěr	50
8	Seznam literatury.....	51
9	Seznam obrázků a tabulek.....	56
9.1	Seznam grafů	56
9.2	Seznam obrázků	56

9.3	Seznam příloh	56
10	Přílohy.....	58

1 Úvod

V České republice existují různé historické mapy půd, jako například mapy z Komplexního průzkumu zemědělských půd, mapy lesních půd aj. Problém je, že tyto mapy byly vytvářeny na základě různých metodik, takže si navzájem mnohdy neodpovídají, hranice půdních jednotek na sebe nenasazují apod.

Rozvoj navigačních systémů a výpočetní techniky je neustále náročnější na podrobnější údaje o zemském povrchu a půdním pokryvu. Tradiční mapování půd tyto požadavky již nedokáže splnit, kvůli velké finanční, technické či časové náročnosti podrobného půdního průzkumu, jenž je založen na terenním měření, odběru půdních vzorků a jejich analytickém zpracování. Odezvou na rostoucí poptávku po podrobných údajích o půdách se vyvinul směr, který se nazývá digitální mapování půd (DMP, Kozák et al., 2009). Digitální mapování půd vytváří půdní mapy s využitím doplňkových údajů, jako jsou údaje o reliéfu, vegetaci, geologickém podloží aj. K tomu jsou využívány pokročilé matematické modely, jako jsou umělé neuronové sítě, regresní a klasifikační stromy, náhodné lesy atd.

I když je digitální mapování půd poměrně nová vědní disciplína, těší se stále větší oblibě a neustále se prudce vyvíjí. V současnosti počet prací DMP roste mírou 12 prací za rok a počet citací roste na 384 citací za rok. Stále se ověřují a hledají nové matematické postupy pro tvorbu modelů a jsou hledány nové doplňkové údaje (Kozák et al., 2009).

Okres Domažlice byl zvolen proto, že je zajímavý jak z pohledu geologie, geomorfologie, tak i z pohledu pedologie.

2 Cíl práce

Hypotézy:

Existují popsitelné vztahy mezi půdními jednotkami a doplňkovými údaji (digitální model reliéfu, využití půdy, vegetace, geologické podloží). Využití doplňkových údajů umožní harmonizovat mapy různého původu.

Cíle:

Zhodnotit vztah mezi doplňkovými údaji a půdními jednotkami. Vytvořit a vybrat nejvhodnější modely pro predikci půdních jednotek z doplňkových údajů. S pomocí vybraného modelu vytvořit jednotnou (harmonizovanou) půdní mapu vybraného území.

3 Literární rešerše

3.1 Stručná historie mapování půd

Historie mapování půd byla vždy založena na tvorbě národních mapových produktů pro potřeby států. V počátcích půdní geografie v druhé polovině 19. století vznikaly především přehledové mapy menších měřítek. Půdní mapy byly nejčastěji půdně-geologického či půdně-agronomickeho charakteru. V tomto období vznikaly mapy především v Evropě (Hartemink et al., 2013). Všechny mapy byly sestavovány na základě interpretace znalostí o geologii, klimatu a případně dalších přírodních faktorů. Půdní mapy založené na průzkumu terénu se začaly objevovat až později. První půdní průzkumy byly realizovány se snahou o zlepšení zemědělské produkce, velmi často za účelem kvalitativního popisu půd z hlediska zemědělské produktivity. Začátky rozsáhlejších půdních průzkumů s cílem vytvořit takovou mapu se datují na přelomu 19. a 20. století. Ovšem první mapy s tematikou půd vznikaly ojediněle i dříve. Příklad takovéto mapy na našem území je mapa okresu Velvary, vypracovaná českým pedologem prof. Kopeckým. Je to první detailní mapa, která zachycuje půdní poměry (Brevik et al., 2016, Miller a Schaetzl, 2014).

Raná fáze půdního průzkumu a jeho rozvoje probíhala v první polovině 20. století. Na našem území v tomto období vznikaly mapy založené na detailním půdním průzkumu převážně pro katastry obcí či pro menší okresy. Na jejich tvorbě se podíleli i další významní čeští pedologové, např. ing. Spirhanzl nebo ing. Gössl (Spirhanzl, 1933).

Hlavní rozvoj tvorby půdních map velkého měřítka a půdního průzkumu nastaly v období po válce. Bylo to zapříčiněno snahou o zvýšení zemědělské produkce a zajištění soběstačnosti v produkci potravin v Evropě. V období 60. až 80. let 20. století byl velmi častý vznik národních půdních map. Ve větší míře probíhalo mapování půd ve státech střední a východní Evropy. Evropa proto byla heterogenním regionem nejen z hlediska dostupnosti detailních půdních dat (Finke et al., 2012).

V dnešní době je finanční náročnost tradičního půdního průzkumu hlavní limit, kvůli kterému téměř nevznikají nové půdní mapy pro větší oblasti tradičním půdním průzkumem. Nevyrovnanost v dostupnosti půdních informací z tradičních půdních map se později odrazila v dalším zaměření na zpracování půdních informací a ve vývoji metod, které měly tyto

nedostatky nahradit. Dodnes existovala nebo existují rozsáhlá území, kde informace o půdách zcela chybí, a také pro některé oblasti půdní informace sice existovaly, ale bylo potřeba je aktualizovat či upřesnit. V obou případech poptávka po aktuálních půdních datech s co nejdetailnějším a nejpřesnějším popisem půdní variability vedla k rozvoji metod digitálního mapování půd.

3.2 Tradiční půdní průzkum

Pojmem tradiční půdní průzkum označujeme klasický způsob mapování půd, jehož produktem jsou polygonové mapy s vymezenými půdními jednotkami (Wysocki et al., 2005). Samotná metoda mapování spočívá v určení půdních profilů na vytyčené síti míst, na kterých se vykopou půdní sondy. Na půdních sondách jsou často odebrány půdní vzorky a je popsán i půdní profil. Hustota odběrové sítě se řídí požadovaným detailem výsledné mapy, který je v úzkém vztahu s měřítkem mapy. Podstatou je zachycení typických pozic v terénu, které jsou charakteristické pro danou lokalitu, ale obvykle předem nejsou tato místa určena. Přesný výběr je závislý na půdoznalci, jenž provádí vlastní průzkum. Kvalita výsledných map často závisí na zkušenostech, znalostech a schopnostech pedologa. Příklad tradičního půdního průzkumu na našem území je Komplexní průzkum zemědělských půd (KPP, Němeček et al., 1967).

3.2.1 Mapa půd České republiky 1:50 000

Mapa půd České republiky 1:50 000 původně vznikala v papírové podobě na Českém geologickém ústavu. Později tvorba této mapy přešla na AOPK (Agentura ochrany přírody a krajiny), v současnosti je zpracovávána Českou geologickou službou. Mapa byla vytvářena na základě dat KPP, lesotypologických map a geologických map. Přesný popis metodiky je dostupný pouze pro současnou fázi tvorby digitálních map (Janderková a Sedláček, 2004). Mimo tvorby nových mapových listů dochází i k postupné digitalizaci map analogových (Janderková a Sedláček, 2011). Naneštěstí nově vznikajícím mapovým listům chybí informace o půdotvorných substrátech, které jsou uvedeny na původních analogových mapách. Půdy jsou v nové edici již převáděny do TKSP (Taxonomický klasifikační systém půd; Němeček et

al., 2001), v původní analogové edici jsou klasifikovány Morfogenetickým klasifikačním systémem (předchůdce dnešního TKSP).

3.3 Digitální mapování půd

S rozvojem navigačních systémů a výpočetní techniky je potřeba stále podrobnějších údajů o zemském povrchu, včetně informací o půdním pokryvu. Tradiční mapování půd v současné době nedokáže tyto požadavky splnit kvůli velké finanční, technické i časové náročnosti podrobného průzkumu půdy, které je založeno na terenním měření, odběru půdních vzorků a jejich následném analytickém zpracování. Směr nazývaný digitální mapování půd (DMP) se vyvinul jako reakce na velkou poptávku po podrobných zeměpisně určených údajích o půdách. Ať pro potřeby ochrany ekosystémů a půdy, precizního zemědělství, či jiné účely (Kozák et al., 2009).

DMP využívá v široké míře metod pro prostorovou předpověď, a proto je charakterizováno jako prediktivní. DMP je uváděno jako kvantitativní tvorba prostorových informací o půdě, či tvorba a naplňování geograficky určených databází půd vytvářených s využitím laboratorních a polních měření spojených s údaji o prostředí prostřednictvím kvantitativních vztahů (Kozák et al., 2009).

DMP vyžaduje tři komponenty: vstup ve formě laboratorních výzkumných metod, proces využitý k podmínkám prostorového a neprostorového půdního dedukčního systému a výstup ve formě prostorových půdních informačních systémů, což zahrnuje výstupy ve formě rastrových obrázků (Minasny et al., 2016).

Úspěšnost digitálního mapování půd závisí na několika faktorech. Řadíme mezi ně zvýšenou dostupnost prostorových dat, dostupnost výpočetní techniky pro zpracování dat a vývoj programů GIS. Mimo jiné je možné vnímat rostoucí globální potřebu prostorových dat, obnovení mnoha půdních výzkumů a nových univerzitních center, což vede k rozšíření technologií a znalostí DMP (Minasny et al., 2016).

Jako postup tvorby map musí DMP zahrnovat několik základních složek. Není možné vytvářet podrobné a přesné mapy, pakliže nemáme podrobné a přesné vstupní údaje pro tvorbu těchto map. Důležitá je tvorba a kalibrace predikčních modelů. Cílem je na základě známých

hodnot půdních charakteristik a doplňkových údajů, hledání vztahů mezi nimi a popsat je pomocí statistických či matematických neboli kvantitativních metod (Kozák et al., 2009).

Důležité je, aby údaje pocházely z reprezentativního území, které zahrnuje co nejširší rozsah dostupných půdních i doplňkových informací. Dále shromáždění doplňkových údajů v dostatečném množství s dostatečnou hustotou na zájmovém území, sloužících jako vstupní soubor do vytvořeného modelu pro predikci vlastností půdy. Další neméně důležitou součástí digitálního mapování půd je ověřování výstupů predikčních modelů. Pro tento účel je potřeba nezávislého souboru, ve kterém jsou známy hodnoty doplňkových údajů i hodnoty půdních vlastností. Protože tyto výsledky nebyly použity pro tvorbu nebo kalibraci modelu, mohou být použity pro ověření jeho výsledků, v tom spočívá nezávislost. Do jaké míry jsou výsledky modelu spolehlivé, ukáže shoda mezi hodnotami získanými predikčním modelem, tj. odhadem, a skutečně naměřenými půdními údaji. Výhodou DMP je i to, že míra nepřesnosti je známá, jelikož zjistíme míru nepřesnosti či spolehlivosti. Výstupem DMP nemusí být pouze mapa, ale i databáze, kde se výsledky zobrazí do grafické podoby (Kozák et al., 2009).

Použití počítačových a matematických modelů není v DMP novinkou a výzkumy metod pro vytváření DMP vznikaly od počátku 90. let 20. století. Digitální půdní mapy jsou často vytvářeny pomocí satelitních snímků či nástrojů pro tvorbu digitálních půdních map (Minasny, McBratney, 2016)

3.3.1 Rozdíl mezi digitalizovanou a digitální mapou

Digitální mapa je vytvořena pomocí predikčních modelů kvantitativními metodami, zatímco digitalizovaná mapa představuje převedení mapy tradiční do elektronické podoby. Mapy digitální a digitalizované mohou být pomocí počítačových monitorů libovolně zvětšovány či zmenšovány, tudíž klasické měřítko zde ztrácí význam a hovoří se o rozlišení (Kozák et al., 2009).

3.3.2 Znázornění digitálních půdních map

Pro DMP je důležitý způsob, jakým jsou výsledky zobrazeny. Barevně odlišené dvourozměrné zobrazení či mapy izochar jsou samozřejmostí. Poslední dobou je stále častější použití trojrozměrného zobrazení (3D). V nejjednodušší podobě to je položení mapy určité půdní vlastnosti nebo půdní jednotky na 3D zobrazení reliéfu, což dovoluje posuzovat vztah určité půdní vlastnosti (např. hloubky humusového horizontu) či určité půdní jednotky (glejů, fluvizemí) na reliéfu (Kozák et al., 2009)

Složitější zobrazení ukazuje skutečné rozložení hodnot půdních vlastností v prostoru trojrozměrném, kde obrázek je složen z voxelů, tak jako je mapa dvourozměrná složena z pixelů - neboli základních čtverečků. V současné době se vyskytuje stále větší množství prací, které se snaží o popis časového vývoje půdních vlastností. Grafické výstupy mají podobu dvourozměrných nebo třírozměrných zobrazení stavu v daných časových okamžicích, či mohou mít podobu jakéhosi videa. To se pak nazývá čtyřrozměrné neboli 4D zobrazení. Určitou nevýhodou tohoto zobrazení je potřeba velkého množství vstupních údajů (Kozák et al., 2009).

3.3.3 Digitální model reliéfu

Jednou z významných složek krajinné sféry je reliéf, který má důležitý význam při vývoji půd. Buď přímo, např. míra akumulace, vliv na pohyb vody či akumulace půdní hmoty. Naopak nepřímo skrze vliv na biologický a klimatický faktor půdotvorného procesu, např. vegetační pásma a rozdílná intenzita srážek v závislosti na nadmořské výšce, rozdílné tepelné poměry v půdě, které určuje odlišné oslunění povrchu zemského podle orientace svahu atd. Půdní vlastnosti jsou významně ovlivněny právě z těchto důvodů a údaje o reliéfu bývají využity v DMP jako hlavní doplňkové informace. Využívá se především digitální výškový model nebo digitální model reliéfu, které je možné získat ve vysokém rozlišení. Mohou vznikat přesným terenním měřením či digitalizací vrstevnicových map nebo jako výstup z dalkového průzkumu Země (DPZ, Kozák et al., 2009).

V digitálním mapování půd se používají základní reliéfové parametry, jako vertikální a horizontální zakřivení svahu, orientace svahu, sběrná plocha či sklon. Významnou roli hrají

odvozené vlastnosti, např. topografický index, který udává vztah mezi velikostí sběrné plochy jako ukazatele množství přitékající vody a svažítostí jako míry potenciálního odtoku. To umožňuje předpovídat potenciální výskyt hydromorfních půd. Dalšími odvozenými vlastnostmi reliéfu jsou index slunečního záření či síly toku aj. (Kozák et al., 2009).

3.3.4 Aktuálnost dat

Výsledkem působení půdotvorných procesů jsou půdy; tyto procesy jsou ve svém působení trvalé a určují tak neustálý vývoj půdy. V tomto směru nelze nahlížet na půdní pokryv jako na neměnný, ale je třeba brát v potaz jeho změny a vývoj. Řada půdotvorných procesů musí působit dlouhé časové období, aby došlo k vývoji či změně půd. V našem regionu se mnoho půd vyvíjí od konce poslední doby ledové a jejich stáří se odhaduje na více než deset tisíc let (Němeček et al., 1990). Období několika málo desetiletí, ze kterého pochází většina dat půdního průzkumu, je značně krátké a může se zdát, že z hlediska vývoje půd je také zanedbatelné.

Je důležité vědět, že nemusí docházet jen ke změnám půdních jednotek tvořících půdní pokryv, ale velmi časté jsou změny dílčích půdních vlastností (Várallyay, 2007). Například to může být změna chemických vlastností půdy projevující velký stupeň časové variability, a které se mohou relativně rychle měnit (Bellamy et al., 2005), např. z důvodu klimatických změn (Smith et al., 2007). Působením člověka a jeho aktivit jsou často podmíněny rychlé změny (Penížek a Rohošková, 2004). Je potřeba zmínit, že člověk způsobuje mnohé degradační procesy. Působení může být přímé, kde z důvodu hospodaření dochází například k zrychlené erozi a s tím souvisejícímu úbytku půdní organické hmoty (Verheijen et al., 2009). Příkladem nepřímého působení na půdu může být vliv kyselých dešťů. Změny půdního pokryvu se mohou značně lišit s ohledem na intenzitu faktorů, které tyto změny podmiňují. Výraznost změn je také podmíněna charakterem určité půdní vlastnosti. U některých lze očekávat změny minimální, nebo dokonce žádné (např. zrnitost), u jiných změny předpokládat lze (obsah humusu, Pásztor et al., 2010).

Změny rychlého charakteru se nejčastěji týkají erozí ohrožených území, kde období několika málo dekád dokáže výrazně změnit pokryv půdy. U půdních vlastností podléhajících dynamickým změnám je nutné kriticky vyhodnotit, zda má taková data smysl využívat pro

tvorbu nových map a modelování, či je nutno se takových dat pro tyto účely vzdát (Pásztor et al., 2010).

V oblasti s potenciální degradací půd, je potřeba změny ověřit a zamezit tím desinterpretaci dat. Na základě srovnání původních dat půdního průzkumu lze hodnotit aktuálnost dat s odebranými daty (Świtoniak, 2014). Takové snahy existují díky možnému vývoji půdních vlastností, ale také kvůli odlišnostem v použitých analytických metodách. Např. projekt LUCAS financovaný Evropskou komisí. V tomto případě data tradičního půdního průzkumu neslouží pro účely DMP, ale mohou sloužit jako data referenční pro sledování vývoje půd a změn půdních vlastností (Pásztor et al., 2010).

3.3.5 Harmonizace dat

Data, která byla získána v rámci národních mapovacích kampaní, jsou používána jako vstupní data do globálních či mezinárodních aplikací (Finke et al., 2012). Ty jsou nejrozsáhlejším souborem dat o půdě, která byla získána. V rámci půdního průzkumu sběr dat, ať již v podobě morfologických a analytických dat půdních profilů, či v podobě sestavených map, probíhal pro potřeby jednotlivých států, a tedy i výsledná podoba dat odpovídá zadávacím požadavkům (Zádorová a Penížek, 2011). Obvykle byla použita pro klasifikaci půd národní klasifikace (Adhikari et al., 2014; Dewitte et al., 2013). Velmi časté je i použití specifických limitů a hodnot u třídění půdních vlastností do tříd a skupin (například zrnitostní frakce). Jestliže mají být data z různých časových etap a z různých zemí použita, je nutné dbát na maximální harmonizaci neboli sjednocení těchto dat (Thompson et al., 2012).

Harmonizace může spočívat v harmonizaci atributové nebo prostorové. Existuje několik globálně využívaných klasifikačních systémů v rámci harmonizace klasifikace půd, sloužících jako referenční. Je jimi revidovaná legenda FAO mapy světa (FAO-Unesco, 1997), World Reference Base for soil resources – WRB (IUSS Working Group WRB, 2014), a Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1999). Harmonizace prostorová se používá v sestavování nadnárodních map, kde jedním z nejdůležitějších požadavků je kontinuita vyjádření pokryvu půdy. Příkladem je půdní mapa Afriky v podobě Soil Atlas of Africa (Dewitte et al., 2013) či půdní mapa Evropy neboli evropská půdní databáze – ESDB (Finke et al., 2012).

Další důležitá oblast, na kterou je důležité se zaměřit ve sjednocování dat, jsou analytické metody, které byly využívány v rámci půdních průzkumů v jednotlivých zemích. Například stanovení organického uhlíku v půdě. Existuje totiž řada metod, které mohou mít různou stanovovací účinnost (Jankauskas et al., 2006; Johns et al., 2015). Je-li metoda vybraná a aplikována pro jeden určitý průzkum půdy, poskytuje výsledky, zaručující srovnatelnost mezi jednotlivými vzorky. Problém může nastat, pakliže jsou srovnávány datové sady z více metod dohromady.

3.4 Základní charakteristika půdních typů

Následující kapitola uvádí základní popis výskytu půdních typů. Vzhledem k tomu, že se práce zabývá modelovým územím okresu Domažlice, soustřeďuje se tento popis na 8 půdních typů, které se v tomto okrese nejvíce vyskytují

Glej

Půdy se stratigrafií Ot - At až T - Gro – Gr (Němeček et al., 2001). Vyskytují se v České republice především v zamokřených úpadech a v nivách vodních toků. Centrem jejich rozšíření je vrchovina a pahorkatina. Původním porostem gleje byly luhy, později zamokřené kyselé louky. Substrátem jsou především deluviální splachy a nevápnité nivní uloženiny. Glejový pochod je hlavním půdotvorným procesem (Tomášek, 2007). Gleje jsou charakterizovány zrašeliněnými horizonty akumulace organických látek a reduktomorfním glejovým diagnostickým horizontem v hloubce do 0,60 m (Němeček et al., 2001).

Pseudoglej

Půdy se stratigrafií O - Ahn či Ap - En - Bmt - BCg - C či O - Ahn či Ap - Bm - BCg - C (Němeček et al., 2001). Pseudogleje jsou nejrozšířenější ve středních výškových stupních, kde se střídají s illimerizovanými půdami. Původní rostlinný pokryv a klimatické poměry jsou podobné jako u illimerizovaných půd. Nejčastějším půdotvorným substrátem jsou sprašové hlíny, smíšené svahoviny, jílovité a hlinité ledovcové uloženiny, odvápněné slínovce, jíly a často i zrnitostně

těžší, hlubší zvětraliny pevných hornin. Převládají depresní plochy a plošiny, terén je méně členitý. Hlavní půdotvorný proces je oglejení, často se uplatňuje i illimerizace. (Tomášek, 2007). Pro pseudogleje je typický výskyt výrazného redoximorfního, mramorovaného diagnostického horizontu (Němeček et al., 2001).

Kambizem

Půdy O - Ah nebo Ap - Bv - IIC, s kambickým braunifikovaným neboli hnědým horizontem, vyvinutým v hlavním souvrství svahovin metamorfických, zpevněných, magmatických a sedimentárních hornin, ale i jim odpovídajících souvrstvích. Půdy vzniklé především ve svažitéch podmínkách pahorkatin, hornatin a vrchovin, ale méně také v rovinnatém reliéfu. Původními společenstvy jsou smíšené a listnaté lesy (Němeček et al., 2001).

Fluvizem

Fluvizemě neboli nivní půdy vznikají především na mladých fluviálních sedimentech v nivách řek či větších potoků. Půdotvorný proces bývá často přerušován akumulací vodního toku při záplavách. Při takové akumulární činnosti byl na tvořící se půdu vytvořen nový nános zeminného, do značné míry prohumózněného materiálu (Tomášek, 2007).

Obecný půdní vzorec pro fluvizemě vypadá takto: O – Ah – M – C, v nadloží je horizont humusu, pod ním se utvořila šedá humózní vrstva, kde do hloubky humusu ubývá. Pod touto vrstvou je vlastní půdotvorný substrát, u kterého vzniká vrstevnaté souvrství. Podloží je složeno z holocenních sedimentů přemístěných větrem či vodou. Složení a zrnitost sedimentů je závislá na rychlosti proudění. Barva profilu je pevně hnědá či šedohnědá (Němeček et al., 2001). Půdotvorný substrát tvoří potoční a říční náplavy (Tomášek, 2007).

Kryptopodzol

Půdy se stratigrafií O - Ah či Ap - Bvs – C, se seskvioxidickým spodickým horizontem, rezivé až žlutorezivé barvy. Pro kryptopodzoly je charakteristická nízká objemová hmotnost (níže 1,0 g.cm⁻³) a vysoká kyprost, zapříčiněná důsledkem tvorby zaoblených mikroagregátů, které vznikly stmelěním částic jílu a prachu uvolněným amorfním FeO. Vykazuje téměř všechny

znaky spodického horizontu bez iluviální akumulace Fe. Nejčastěji se vyskytují v horských podmínkách v hlavním souvrství přemístěných zvětralin lehčího zrnitostního složení a v chladných a vlhkých oblastech (Němeček et al., 2001).

Hnědozem

Stratigrafie půdního profilu je: O - Ah nebo Ap - (Ev) - Bt - B/C - C či Ck (Němeček et al., 2001). Nejčastěji se hnědozemě vyskytují v okrajových částech nížin či v nižším stupni pahorkatin. Podnebí je zde spíše vlhké. Roční úhrn srážek se pohybuje v rozmezí 500 – 700 mm a průměrná roční teplota mezi 7 až 9 °C. Hnědozemě se vytvářeli pod původními dubohabrovými lesy. Nejčastějším půdotvorným substrátem je spraš, sprašová hlína či polygenetická hlína (smíšená svahovina). Hnědozemě jsou převážně středně těžké či těžší půdy. Nejčastěji se vyskytují mezi 200 – 450 m n. m. na plošinách. Hlavní půdotvorný proces je illimerizace (Tomášek, 2007).

Luvizem

Statigrafie půdního profilu je O - Ah nebo Ap - El - Btd - BC – C. Tyto půdy jsou charakteristické převážně pro rovinný, a mírně zvlněný reliéf. Vznikají z prachovic, polygenetických hlín, i z lehčích, eolickým materiálem obohacených substrátů. Původním společenstvem na tomto typu byl listnatý les, převážně buk, dub, lípa a habr. Jejich výskyt spadá do lesního vegetačního stupně 2 – 5. V oblasti jejich rozšíření se uplatňuje udický hydrický a mesický termický režim (Němeček et al., 2001).

Organozem

Pro tyto půdy je charakteristický holorganický horizont T o mocnosti > 0,50 m, až na výjimky případů tvorby horizontu T nad pevnou skálou. Jsou klasifikovány dle převládající rozloženosti horizontu T (Němeček et al., 2001).

4 Metodika

4.1 Domažlicko

4.1.1 Geografie

Významnou součástí západočeského kraje tvoří oblast Domažlicka. Tato oblast je vymezena linií táhnoucí se od Všerubské vrchoviny, přes Chudenickou vrchovinu, Plzeňskou pahorkatinu, Sedmihoří až po Český les. Domažlicko má nejdelší hranice na jihovýchodě s Klatovskem, na západě sousedí se správním celkem Horní Falc a na severu s Tachovskem (Mištera, 1997).

Rozdělení půdy okresu Domažlice

Úhrnné hodnoty druhů pozemků v okrese Domažlice k 31.12.2015 (ČÚZK, 2015).

Celková výměra pozemků (ha) - 112354

- Orná půda (ha) - 39630
- Zahrady (ha) - 1310
- Ovocné sady (ha) - 140
- Trvalé travní porosty (ha) - 18519
- Zemědělská půda celkem (ha) - 59597
- Lesní půda (ha) - 42950
- Vodní plochy (ha) - 1342
- Zastavěné plochy (ha) - 1236
- Ostatní plochy (ha) - 7228

4.1.2 Geomorfologie

Masivní horský hřeben Český les je hlavním orografickým celkem, táhnoucí se v délce 82 km podél státní hranice (Jílek, 2010). Český les je geomorfologickou jednotkou České vysočiny. Na jihu začíná v Domažlickém sedle u České Kubice, dále se táhne severozápadním směrem

podél státní hranice v pruhu o šířce 6–17 km a končí na severu, na jižním okraji Chebské pánve hřbetem Dyleně (Mištera, 1997). Celková plocha je zhruba 1741 km² (Jílek, 2010).

Český les je označován pojmem asymetrické pohoří, protože západním směrem se sklání a na východní straně je omezen zlomovým svahem, spadajícím k reliéfu Podčeskoleské pahorkatiny. Jeho součástí jsou čtyři podcelky. Jedná se o Přimdský les, Dyleňský les, Čerchovský les a Kateřinskou kotlinu (Dudák, 2006). Nadmořská výška Českého lesa se v průměru pohybuje kolem 800 m n. m. s nejvyšší částí, hornatinou Čerchovský les, nejvyšší hora je Čerchov s 1042 m n. m. (Mištera, 1997).

Český les je asi 350 mil. let staré horské pásmo. Ve starohorách v něm dvakrát proběhlo vrásnění hornin. V prvohorách se nejdříve povrch zarovnal na parovinu, za hercynského vrásnění došlo k opětovnému vyzdvižení oblasti. Působením pozdější eroze se povrch částečně zarovnal a ve třetihorách bylo pohoří vyzdviženo a zvrásněno do podoby, jak jej známe dnes (Jílek, 2010). Mimo horská pásma, nadmořská výška krajiny kolísá mezi 300–400 m n. m. a směrem do vnitrozemí je terén zvlňněný plošně. Od Stodu na severozápad přechází ve Stříbrskou vrchovinu, severně od Horšovského Týna v Sedmihoří (Čujanová-Jílková, 1966). Dalším orografickým celkem je Podčeskoleská pahorkatina se svým podcelkem Předhoří Českého lesa neboli Chodská pahorkatina, a Tachovská brázda. Chodská pahorkatina patří k severní větvi Šumavy. Na jihovýchodě je ukončena Všerubskou vrchovinou a podhůřím Šumavy a na východě Plzeňskou pánví u Staňkova. Český les je od Všerubské vrchoviny oddělen Chodskou pahorkatinou. Tuto pahorkatinu tvoří dvojslídne svory až pararuly domažlického krystalinika s tělesy žul, gaber a amfibolitů (Dudák, 2006).

Nadmořská výška Chodské pahorkatiny je v průměru 400–500 m n. m. s nejvyšším vrcholem, který se nazývá Černá hora (662 m n.m) u Bělé nad Radbuzou (Balatka et al., 1987). Typické jsou zaoblené tvary hřbetů a vrchů, široce rozevřená údolí vodních toků i mělké kotliny (Dudák, 2006). Poběžovická kotlina leží ve střední části Chodské pahorkatiny. Východní hranice vede od Sedmihoří směrem k jihu k Horšovskému Týnu. Dále se stáčí na jihozápad k obci Chodov a poté přes Klenčí pod Čerchovem. Postřekovem vede západní hranice, prochází přes Poběžovice a pokračuje dále k severovýchodu k Sedmihoří. Touto tektonickou sníženinou protéká Radbuza. Kotlina je vytvořena z proterozoických svorů až paralul, amfibolitů a neogenních fluvialně limnických sedimentů. Představuje plochý reliéf se

zbytky třetihorního zarovnaného povrchu na kaolinických zvětralých horninách (Dudák, 2006).

Tachovská brázda je třetí součástí severní šumavské větve, ohraničená na západě Českým lesem, na jihu a jihovýchodě přechází v Chodskou pahorkatinu a na východě Mariánskolázeňským zlomem (Balatka et al., 1987). Všerubská vrchovina je nejnižší položeným celkem šumavské soustavy. Na východě a severovýchodě je ohraničena Domažlickou linií – Kout na Šumavě – Starý potok – Pocinovice. Všerubský průsmyk s nadmořskou výškou 510 m n.m. je nejnižší sedlo Šumavy. Tento celek lze dále rozčlenit na Českokubickou vrchovinu a Jezvineckou vrchovinu (Dudák, 2006). Českokubická vrchovina s méně členitým povrchem a průměrnou nadmořskou výškou 500–600 m n. m. je vytvořena z proterozoických svorů, z hornin babylonského masívu a rul. Jsou pro ni typická široká údolí toků a nachází se v oblasti hlavního rozvodí Evropy. Nejvyšším vrcholem je Spálený vrch (668 m n. m.) (Dudák, 2006).

V jihovýchodní části Všerubské vrchoviny se nachází Jezvinecká vrchovina. Členitá vrchovina je složena z hornin kdyňského bazického komplexu (gabra, diority, amfibolity). Rozkládá se v oblasti klenbovitého výzdvihu území při hlavním rozvodí Evropy. Nejvyšší bod je Kameňák (751 m n. m.) (Dudák, 2006).

Dalším orografickým celkem, který se zde nachází, je Klatovské předhoří, jež je tvořeno třemi horskými pásmy. Pásmo jsou oddělena Bukovským potokem a potokem Poleňkou. Klatovské předhoří se táhne od obce Pocinovice a končí nad Chudenicemi a nad Švihovem. Mezi nejznámější vrcholy tohoto celku patří Koráb (773 m n. m.), Rýzmberek, Velký Kouřim, Nový Herštejn a Pušperk. Kdyňská vrchovina je součástí Klatovského předhoří spojující Šumavu a Český les (Balatka et al., 1987).

Jižní část Stříbrské pahorkatiny je tvořena Staňkovskou pahorkatinou, jež leží v oblasti Plzeňské pahorkatiny. Tato členitá pahorkatina je vytvořena na zbytcích karbonských pískovců, slepenců, arkóz, jílovců a na proterozoických fylitech. Jedná se o plošně zvlněný denudační reliéf se široce rozevřenými údolními v povodí středního toku Radbuzy s mnohými erozními rýhami. Nejvyšší bod se nazývá Šibeniční vrch (539 m n. m.) (Dudák, 2006). Na hranici okresů Domažlice a Tachov, severovýchodním směrem, leží okrsek Sedmihoří s nejvýznamnějšími vrcholy Racovský vrch, Malý a Velký Křakovský vrch, Chlum, Rozsocha.

Jedná se o geomorfologicky a geologicky ojedinělou skupinu vrchů, jejichž průměrná nadmořská výška je 500-600 m. Vrcholy jsou otevřené východním směrem a jsou seřazeny do tvaru podkovy (Kolektiv, 1993).

4.1.3 Hydrologie

Západní Čechy jsou pramennou oblastí významných českých řek. Tato oblast patří k pomoří Severního moře, pouze malá část při státní hranici se řadí k pomoří Černého moře. Od státní hranice přes Všerubské vrchoviny (Jezvinec, Orlovická Hora, atd.), Všerubský průsmyk do Domažlického průsmyku v České Kubici a přes Český les probíhá severozápadním až severním směrem hlavní rozvodí Evropy (Balatka et al., 1987). Pramení zde větší množství bavorských řek, např. řeka Chambach nad městysem Všeruby, u obce Rybníky řeka Schwarzach a její přítoky či severněji Pfreimd. Chambach (Kouba) se vlévá do Regenu v Chamu a v Regensburgu do Dunaje. Pfreimd (Kateřinský potok) pramení 1,5 km jihovýchodně od Lesné (Dudák, 2006). Z českých řek pramení pod Lysou horou Radbuza a její přítoky: Zubřina, Černý potok, Pivoňka, Merklína a jejich menší četné přítoky. Oblast je odvodňována směrem k řece Berounce a patří tak k povodí Severního moře (Čujanová-Jílková, 1966). V Českém lese pramení řeka Radbuza, 1,5 km severovýchodně od horské osady zvané Závist (700 m n. m.). Významnější a větší přítoky Radbuzy jsou pravobřežní, například: Černý potok (Čerchovka), Zubřina, Srbický potok, Úhlava a Merklínka. Levé přítoky jsou méně významné a také menší: Chuchla, Bezděkovský potok, Luční potok, Křakovský potok (Balatka et al., 1987).

4.1.4 Vegetace

Zvolené území spadá do oblasti opadavého listnatého lesa s převažujícím podhorským stupněm. Horský stupeň se vyskytuje převážně ve vrcholových partiích Dyleňského a Českého lesa. Plochu Českého lesa tvoří 60 – 85 % lesního porostu. Vegetační rozdíly jsou způsobeny různým geologickým podložím, rozpětím nadmořské výšky v dané oblasti, orientací ke světovým stranám, ale i antropogenní činností (Dudák, 2006).

Podle vegetačního složení lze rozeznávat různé fytogeografické okresy. Okres má své charakteristické rostlinstvo a květenu, kterými se odlišuje od ostatních. Vrchoviny i horstva

podél hranice jsou hustě zalesněny. Obecně lze říci, že nižší polohy jsou porostlé především smíšenými lesy, vyšší polohy naopak monokulturami smrků (Balatka et al., 1987).

Původní pohraniční hvozdy Českého lesa byly tvořeny zejména bučinami a jedlobučinami s příměsemi klenu, smrku a jilmu. Bylinné patro bylo spíše chudé. V přírodních rezervacích jsou zachovány pozůstatky těchto původních porostů. V severní i střední části Českého lesa se vyskytují původní podmáčené smrčiny a jedlosmrčiny. Nejvyšší části Čerchovského lesa, jako jsou Čerchov, Haltravský hřeben, Malinová hora, jsou porostlé horskými kyselými bučinami. Rašeliníkové smrčiny jsou omezeny na místní rašelinová ložiska. Potoky na území Českého lesa jsou obklopeny olšinami, podmáčenými smrkovými jedlinami a smrkovými olšinami (Balatka et al., 1987). Koncem 18. století vymizel původní prales a byly zde nově vysazeny smrkové monokultury, v nižších polohách borové lesy. V oblasti Klatovského předhoří se občasně vyskytují duby, osiky, javory, buky, jilmy. V podrostu např. plicník lékařský, rulík, lilie zlatohlavá, třezalka, jahodník, divizna velkokvětá a další. V nižších polohách se táhnou borové lesy, trnky, hlohy, lísky a jalovce. Louky a pastviny jsou tvořeny psárkou luční, bojínkem lučním, kostřavou, lipnicí luční a dalšími. Ve vlhkých lokalitách je častá přeslička bahenní, blatouch, pomněnka bahenní, bledule jarní atd. (Balatka et al., 1987).

V Tachovské brázdě jsou častější zemědělské půdy a postupně ubývá lesů. Převládají borové a smrkové kulturní porosty, ovšem původně zde rostly kyselé doubravy s příměsí borovic. Bylinný podrost je chudší, důležitým zástupcem je vřesovec pleťový, metlička křivolaká, psineček obecný, lišejník a další. V některých oblastech Tachovské brázdy se nacházejí zbytky lužních lesíků. Pobřežní a vodní společenstva jsou tvořena orobincem úzkolistým, dáblikem bahenním, rákosy (Balatka et al., 1987). Také v oblasti Plzeňské pahorkatiny je půda využívána převážně k zemědělským účelům. Dnešní lesy jsou tvořeny kulturními bory nebo smrčinami. Původně zde však rostly kyselé doubravy, lužní lesíky, borovice. Podrost je tvořen vřesovcem pleťovým, orobincem úzkolistým a širokolistým, rákosem, stulíkem žlutým, rdesnem kadeřavým a světlým a dalšími (Balatka et al., 1987).

4.1.5 Geologie

Území se nachází na západním okraji Českého masivu a je pro něj charakterická komplikovaná geologická stavba. Domažlicko patří k tzv. Moldanubiku. Samostatná jednotka je domažlické krystalinikum, patřící k nejstarším geologickým jednotkám, tzv. proterozoiku (Čujanová-Jílková, 1966).

Nacházejí se zde zejména horniny domažlického krystalinika jako jsou ruly, fylity, amfibolity, velmi časté jsou žulové masivy i svory (Balatka et al., 1987). Dominující horninou jsou tu ruly, které zde pronikaly během horotvorného pochodu, jež způsobila metamorfóza bazické horniny. Jedná se například o gabra poběžovického a kdyňského komplexu. Mladší jednotka je reprezentována žulovými masivy (babylonský, borský či stodský). Do rul pronikaly tyto žuly v době prvohorního vrásnění. Vznikaly trhliny i zlomy, z nichž největší se nazývá křemenný val český. Některé z okrajových partií žulových žil a masívů jsou velmi hrubozrnné, tzn. mohou být těženy, například ve formě živce. Na prvohorní vrásnění jsou vázána rudní ložiska mědi. Příkladem jsou ložiska v okolí Mutěšina a Svržna, táhnoucí se od Mariánských Lázní až k severozápadu (Čujanová-Jílková, 1966).

Český les je tvořen hlavně rulami, čočkami žuly, buližníky, svory, amfibolity, diority, porfyry, křemeny a rohovci. Chodskou pahorkatinu tvoří horniny domažlického krystalinika i drobná tělesa hlubinných vyvřelin, například svory, ruly, rohovce, amfibolity, pegmatity, žuly (Kolektiv, 1987). Tachovská brázda je složena z přeměněných hornin algonkia, žuly a suky tvořenými křemennými žilami. Převážná část Klatovského předhoří je tvořena algonkickými břidlicemi, amfibolity, spility, buližníky, diority, fylity a žulami. Všerubská vrchovina se skládá z rul, svorů, amfibolitů a fylitů. Českokubická vrchovina je složena z hornin domažlického krystalinika (fylity, svory, amfibolity). Jezvineckou vrchovinu utvářejí horniny kdyňského masivu (gabra, amfibolity, diority) (Balatka et al., 1987).

Celek Sedmihoří je specifický výraznými prstenci, vytvořenými z porfyrické biotické žuly. Zvětralé žuly vytvářejí pseudokary, skalní mísy, kamenná moře, skalní proudy, skalní hříby a oblé balvany (Balatka et al., 1987).

4.1.6 Pedologie

Na sledovaném území převládají ostrůvkovitě degradované hnědozemě na spraši a kambizemě na hlinitých půdách. Podhůří a vrchoviny jsou tvořeny podzolovými půdami a kambizeměmi vrchovin. Půdy místy mají skeletovou příměs (Balatka et al., 1987). Půdy, které se zde vyskytují, jsou kamenité, hlinitopísčité, hlinité, jílovitohlinité, písčitojílovité, jílovitohlinité i sprašové. Český les je tvořen zejména půdami kamenitými, oblast Straňkovska půdami hlinitými, jílovitohlinitými i sprašemi, Chodská pahorkatina půdami hlinitopísčítými, hlinitými až jílovitohlinitými, Klatovské předhoří jílovitohlinitými půdami, oblast Bělé nad Radbuzou písčitojílovitými půdami. Údolí řek i potoků tvoří jílovitohlinité půdy (Balatka et al., 1987). O jednotlivých půdních typech pojednává kapitola 3.4 v literární rešerši.

4.2 Popis použitých metod

Na základě dat získaných z databáze Katedry pedologie a ochrany půd (KPOP) ČZU v Praze v síti 1x1 km sledované oblasti byla v programu Microsoft Excel 2016 vytvořena grafická znázornění vztahu mezi půdními typy a stanovištními charakteristikami, s využitím doplňkových údajů (nadmořská výška, svažítost, orientace vůči světovým stranám, vertikální zakřivení, horizontální zakřivení, index sbíhavosti, sběrná plocha, topografický index, faktor sklonu, úroveň údolnic, vertikální vzdálenost k údolnici, relativní poloha na svahu, vegetace a půdotvorný substrát). Tato část byla zaměřena na půdní typy, pro které bylo vytvořeno několik grafů jako například graf zobrazující nadmořskou výšku, ve které se jednotlivé půdní typy vyskytují. Dále graf využití půdy na Domažlicku, histogram znázorňující svažítost půd na Domažlicku, graf orientace půd a graf ukazující procentuální zastoupení půdních typů na Domažlicku.

Existující půdní mapy (geologická mapa ČR, mapa klasifikace dle TKSP a WRB, mapa typologie České krajiny podle využití aj.) okresu Domažlice byly porovnány z hlediska obsahu a podobnosti s mapami ze zdroje KPOP (mapa v systému SOTER, SYNTSOIL), kterým byla v programu ArcGIS změněna barva tak, aby mohla být posouzena shoda či rozdílnost mezi nimi.

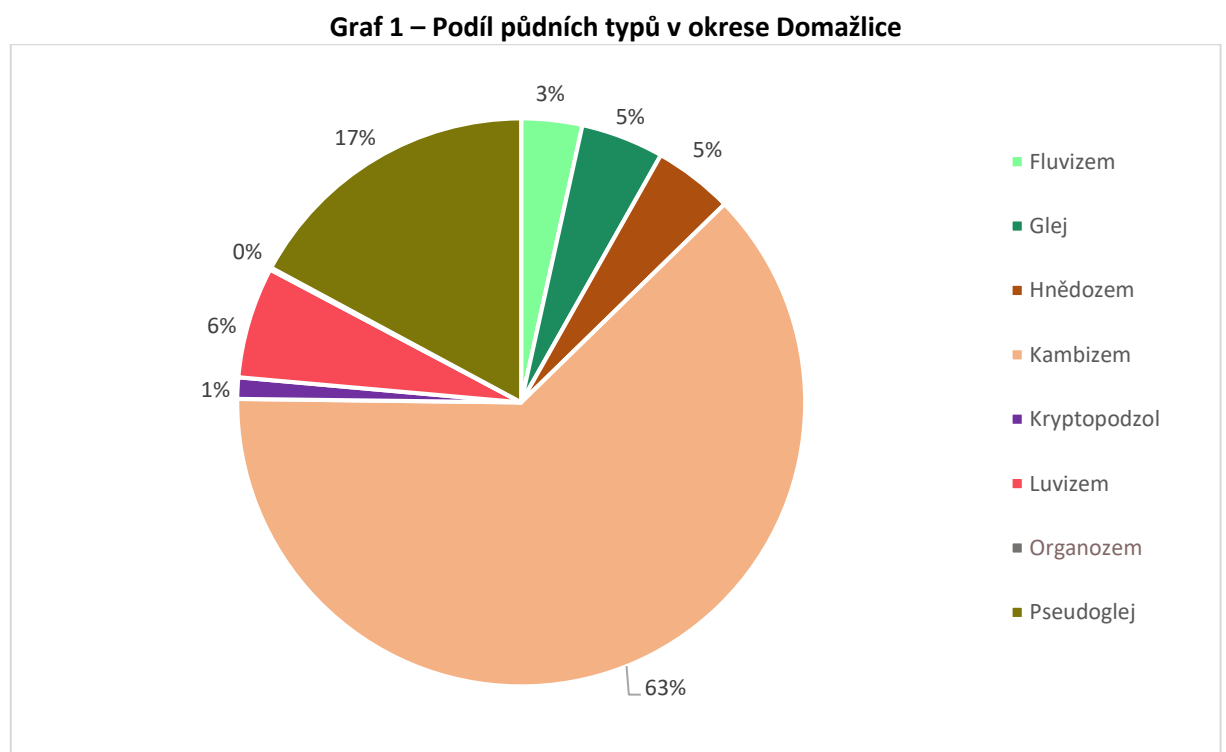
Dále byly pro toto území získány doplňkové údaje (údaje o využití půdy, o reliéfu, o geologickém podloží apod.) rovněž v síti 1x1 km. Na základě těchto vstupních informací byly vytvořeny v programu Statistica 12 matematické modely (umělé neuronové sítě - neural networks, rozhodovací stromy - boosted decision trees, náhodné lesy - random forests a general CHAID), které sloužily k predikci půdních typů. Z vytvořených modelů byly vybrány dva modely s nejmenší mírou chybovosti oproti mapovým datům ve formátu 1x1 km sledované oblasti, které byly následně dále zkoumány a pozorovány.

Poslední částí diplomové práce byla tvorba jednotné harmonizované půdní mapy Domažlického okresu v programu ArcGIS. Toho bylo docíleno pomocí predikovaných dat z výše zmíněných modelů s nejmenší mírou chybovosti po jejich aplikaci na údaje v síti 100x100 m. Následně byly mezi sebou porovnány nejen vytvořené mapy v rastrové podobě, ale i další mapy veřejně dostupné.

5 Výsledky

5.1 Analýza prostorového rozložení půdních typů

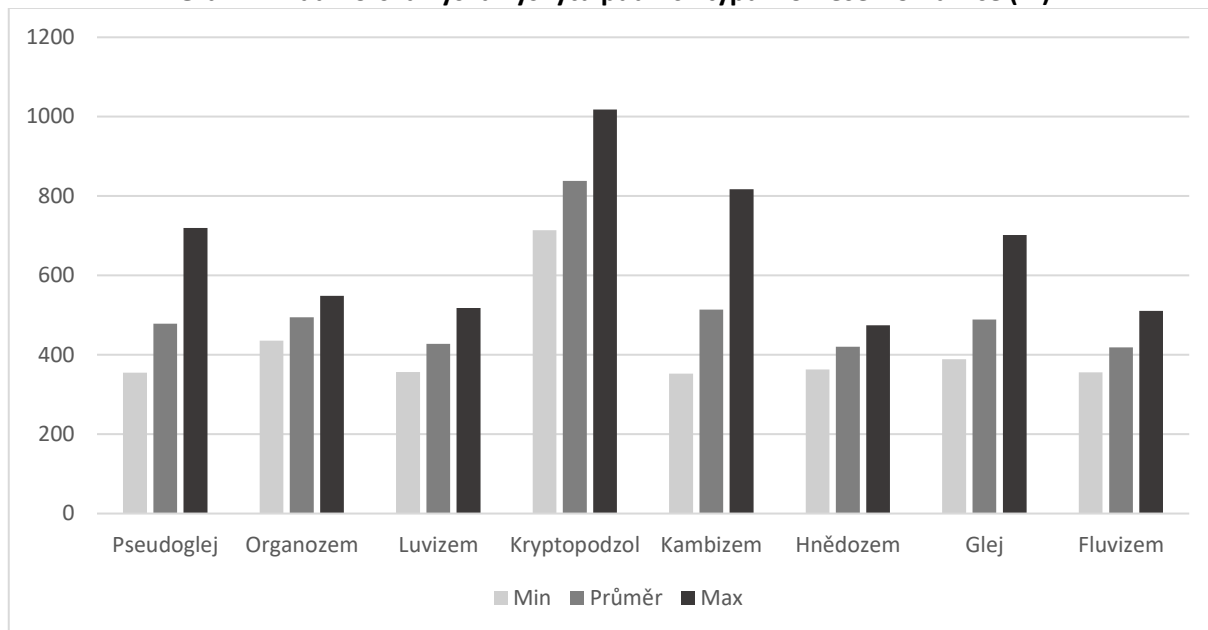
V následující části se diplomová práce zabývá analýzou půd v Domažlickém okrese a jejich vztahu ke stanovištním podmínkám. Tyto výsledky jsou zpracovány a graficky znázorněny.



Zdroj: PUGIS, vlastní zpracování

V grafu 1 lze sledovat rozdělení a podíl jednotlivých půdních typů v Domažlickém okrese. Více než polovinu (63 %) veškeré plochy tohoto okresu zabírá kambizem, což potvrzuje fakt, že okres Domažlice je položen spíše ve vyšších nadmořských výškách s poměrně členitým povrchem. Druhým nejčastěji se vyskytujícím půdním typem, co se rozlohy týče, je pseudoglej, který se rozkládá na 17 % veškerého sledovaného území. Naopak nejméně častým půdním typem podle grafu je organozem, která zabírá pouhé 1 % celého sledovaného území. Poměrně vyrovnaný je podíl luvizemě, gleje a hnědozemě, kde každý z těchto půdních typů zabírá okolo 5 % z celkové plochy.

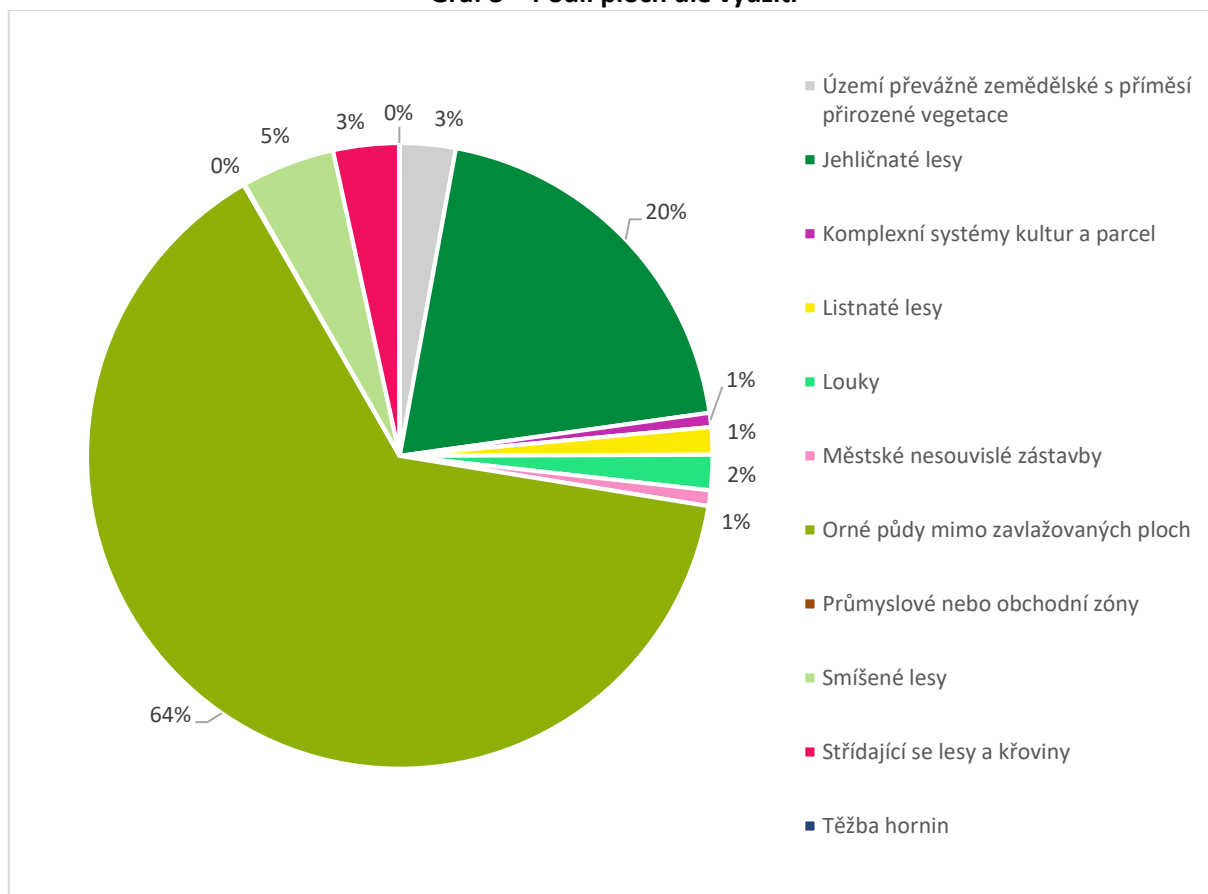
Graf 2 – Nadmořská výška výskytu půdních typů v okrese Domažlice (m)



Zdroj: PUGIS, vlastní zpracování

Graf 2 je grafickým zpracováním průměrných, minimálních a maximálních nadmořských výšek výskytu jednotlivých půdních typů ve sledovaném okrese podle sítě bodů 1x1 km. Lze říci, že pouze kryptopodzol se vyskytuje ve výrazně vyšší průměrné nadmořské výšce (838 m n. m.) oproti ostatním půdním typům. Kryptopodzol se podle definice nejčastěji vyskytuje v horských podmínkách (viz rešerše). Tento výsledek může být i zapříčiněn tím, že kryptopodzol v Domažlickém okrese zaujímá pouze malé procentuální zastoupení z celkové rozlohy. Nadmořská výška ostatních typů půd je podobná, dosahující úrovně kolem 420 m n. m. Nejnižší průměrná nadmořská výška se vyskytuje u fluvizemě (418 m n. m.), což potvrzuje, že fluvizemě neboli nivní půdy vznikají především na mladých fluviálních sedimentech v nivách řek či větších potoků (viz rešerše).

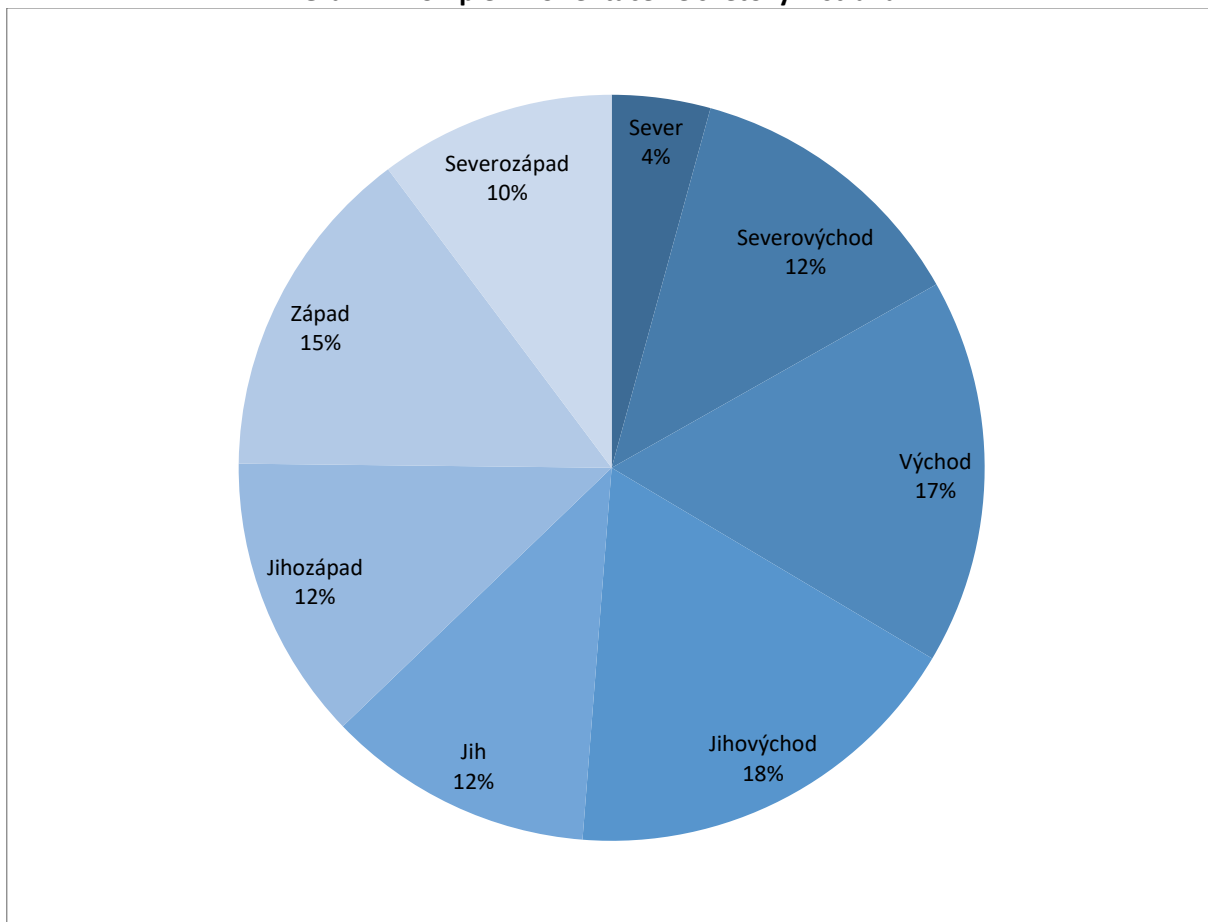
Graf 3 – Podíl ploch dle využití



Zdroj: PUGIS, CORINE, vlastní zpracování

Graf 3 je grafickým zpracováním celkového podílu ploch dle jejich využití, které vychází z údajů v síti 1x1 km. Okres Domažlice je pohraniční oblast, která se nachází spíše ve vyšších nadmořských výškách. Z grafu je zřejmé, že nejzastoupenějším využitím je orná půda s 64 % z celkového počtu bodů. Druhým nejrozšířenějším využitím jsou jehličnaté lesy, které tvoří 20 % z celkového počtu bodů. Nejméně jsou zastoupené průmyslové nebo obchodní zóny s 0,06 % z celkového počtu bodů, to je pravděpodobně zapříčiněno tím, že se jedná o zmíněnou pohraniční oblast, kde se koncentrace měst snižuje. Poměrně vyrovnané jsou podíly bodů s využitím městské nesouvislé zástavby, louky, listnaté lesy a komplexní systémy kultur a parcel, které se v tomto okrese vyskytují okolo jednoho procenta z celkového počtu bodů.

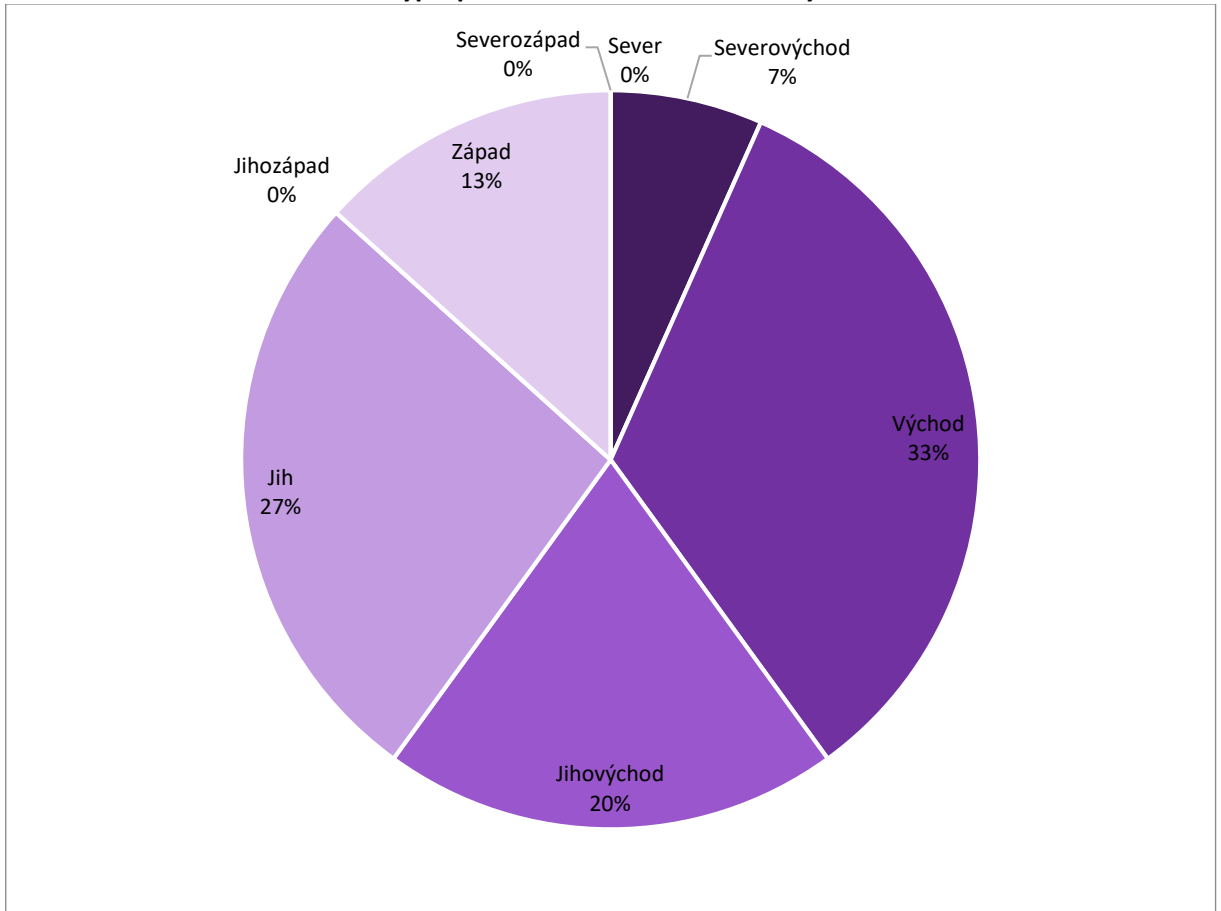
Graf 4 – Komplexní orientace ke světovým stranám



Zdroj: SRTM, vlastní zpracování

Graf 4 zobrazuje celkovou orientaci okresu Domažlice vůči světovým stranám. Graf je poměrně vyrovnaný, žádná z orientací není zastoupená v převážné míře. Z grafu lze vyčíst, že převládající je jihovýchodní expozice (18 %), společně s východní expozicí (17 %). O něco méně se vyskytuje západní expozice (15 %). Nejméně se objevuje severní expozice (4 %), jejíž zastoupení je znatelně nižší oproti ostatním. Důležité je zmínit, že jinak se chová půda na severním svahu, který je chladnější, oproti stejnému svahu, ale s teplou jižní expozicí.

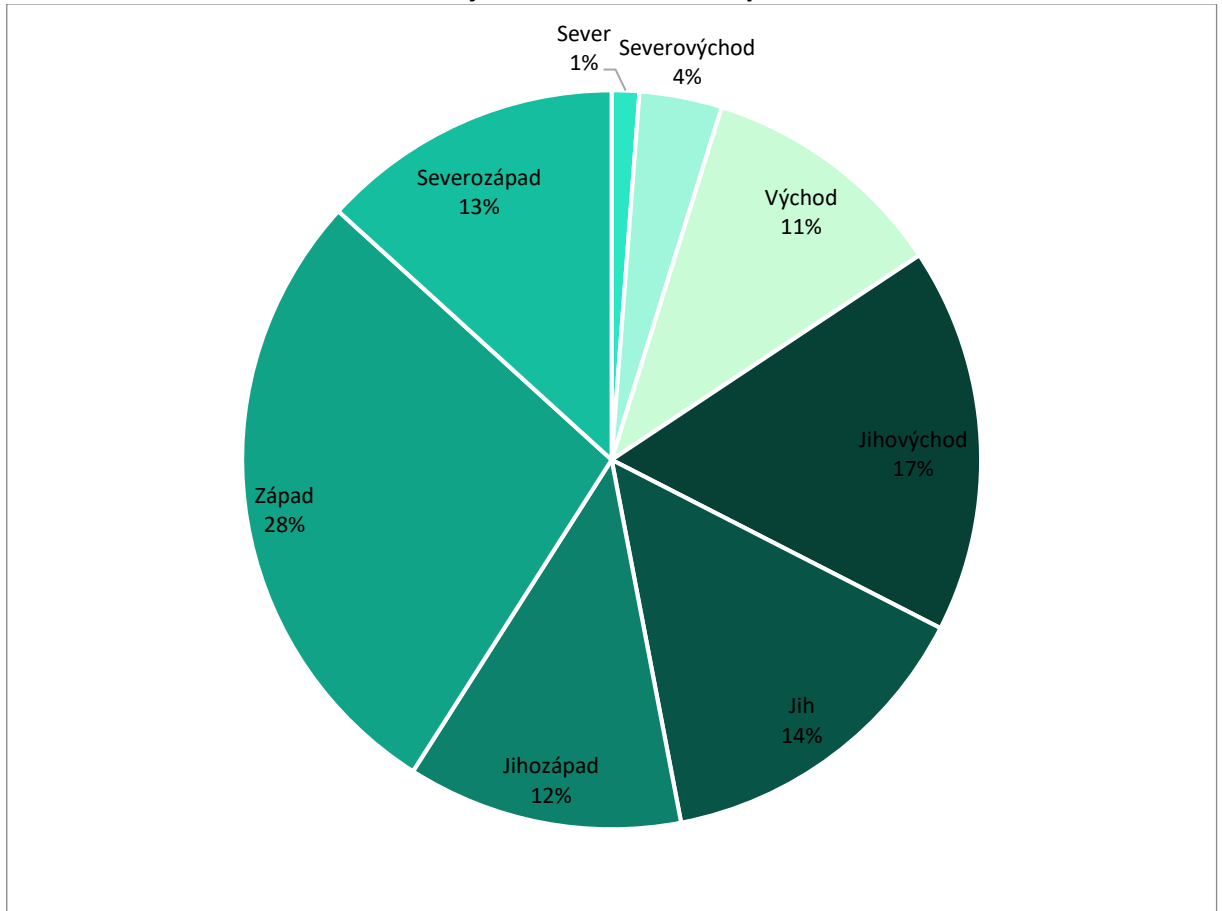
Graf 5 – Kryptopodzol – orientace ke světovým stranám



Zdroj: SRTM, vlastní zpracování

Graf 5 je grafickým zpracováním orientace kryptopodzolu. U grafu byla použita fialová barva, tak aby byl celkový výsledek přehlednější, jelikož v celé této práci včetně map je kryptopodzol značen fialovou barvou. U kryptopodzolu je zřejmé, že nejrozšířenější je východní expozice (33 %), následuje jižní expozice (27 %). Stejně jako u grafu kambizemě, kde je podíl východní expozice nejrozšířenější (17 %), společně s jihovýchodní expozicí, která je v grafu rozšířena stejně (17 %). Graf pro kryptopodzol se dále shoduje s grafem kambizemě v tom, že nejméně rozšířenými orientacemi jsou severní a severozápadní expozice, které se v grafu 5 vůbec nevyskytují. V grafu kambizemě se sice tyto orientace vyskytují, ale jsou také nejméně rozšířeny (severní 5 %, severozápadní 10 %). Graf orientace kambizemě se nachází v příloze.

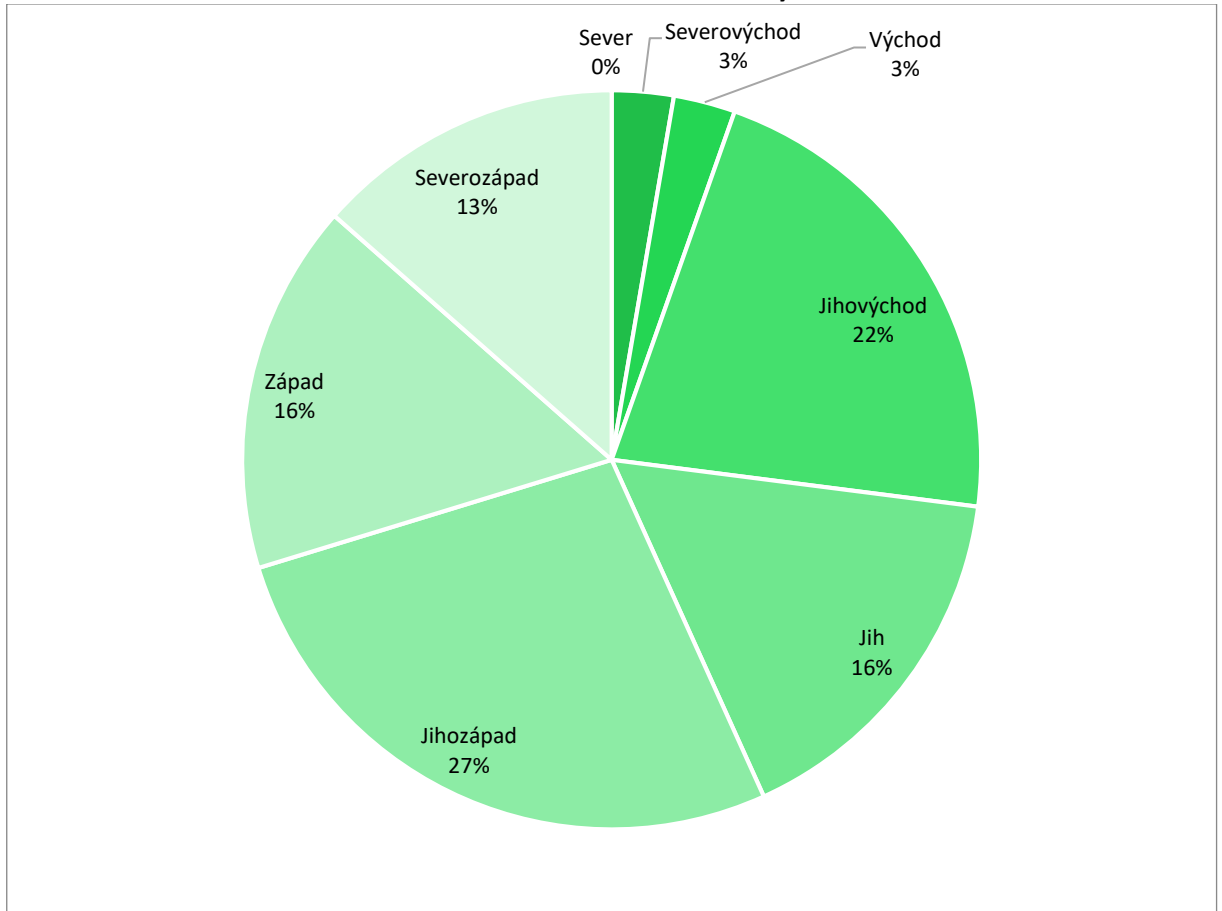
Graf 6 – Glej – orientace ke světovým stranám



Zdroj: SRTM, vlastní zpracování

Graf 6 je grafickým zpracováním orientace gleje. U grafu byla použita tyrkysová barva, tak aby byl celkový výsledek přehlednější, jelikož v celé této práci včetně map je glej značen tyrkysovou barvou. Orientace gleje je poměrně vyrovnaná, jediný větší rozdíl je u západní a severní orientace. U gleje je zřejmé, že nejrozšířenější je západní expozice (28 %). Následuje jihovýchodní expozice (17 %). Nejméně rozšířená je severní expozice (1 %), stejně jako u pseudogleje (4 %) a kambizemě (5 %).

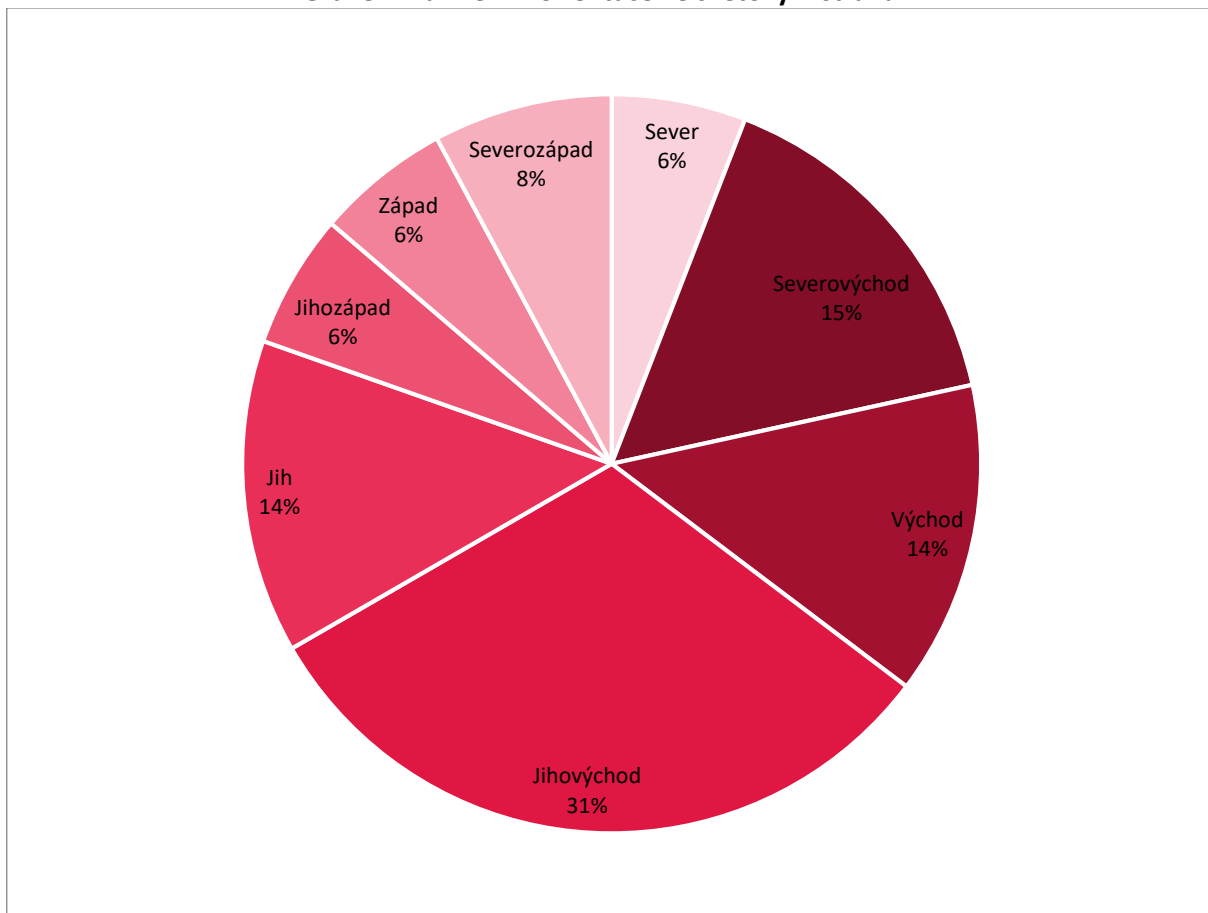
Graf 7 – Fluvizem – orientace ke světovým stranám



Zdroj: SRTM, vlastní zpracování

Graf 7 je grafickým zpracováním orientace fluvizemě. U grafu byla použita zelená barva, tak aby byl celkový výsledek přehlednější, jelikož v celé této práci včetně map je fluvizem značena zelenou barvou. Orientace fluvizemě je poměrně vyrovnaná, jediný větší rozdíl je u severní, severovýchodní a východní orientace. U fluvizemě je patrné, že nejrozšířenější je jihozápadní expozice (27 %). Následuje jihovýchodní expozice (22 %). Nejméně rozšířená je severní expozice (1 %), stejně jako u orientace gleje (1 %) a velice podobná je i severní expozice kambizemě (5 %). Graf orientace fluvizemě si je poměrně podobný s grafem gleje, oba grafy jsou vyrovnané. Podobnost grafů může být ovlivněna i faktem, že oba tyto typy půd se vyskytují v zamokřených a nivních polohách.

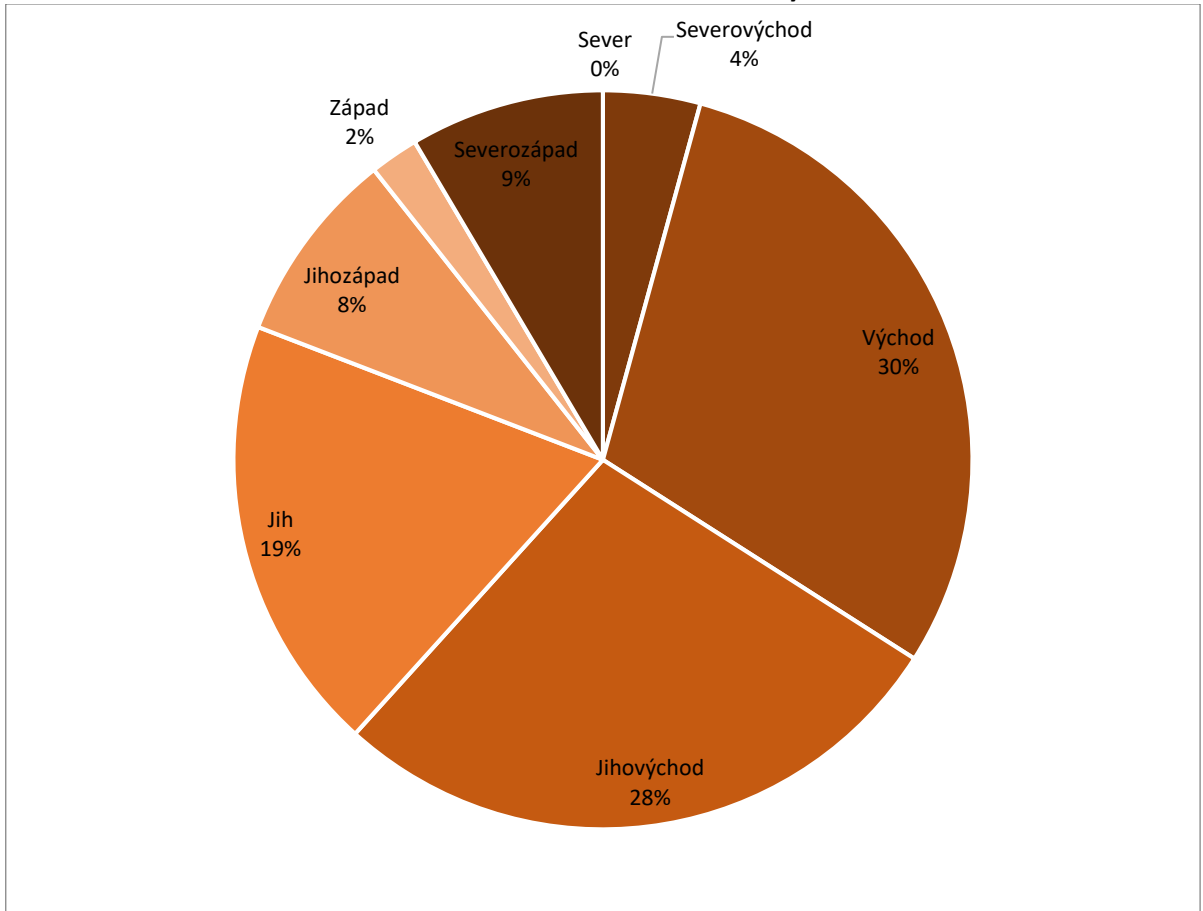
Graf 8 – Luvizem – orientace ke světovým stranám



Zdroj: SRTM, vlastní zpracování

Graf 8 je grafickým zpracováním orientace luvizemě. U grafu byla použita růžová barva, tak aby byl celkový výsledek přehlednější, jelikož v celé této práci včetně map je luvizem značena růžovou barvou. U luvizemě je zřejmé, že nejrozšířenější je jihovýchodní expozice (31 %), stejně jako u organozemě (50 %), kde je rozdíl nejznatelnější ze všech grafů zobrazujících orientací. Tento fakt je pravděpodobně ovlivněn tím, že půdní typ organozem se na pozorovaném území vyskytuje pouze výjimečně. V grafu pro luvizem následuje severovýchodní expozice (15 %). Nejméně rozšířené jsou severní, západní a jihozápadní expozice (6 %).

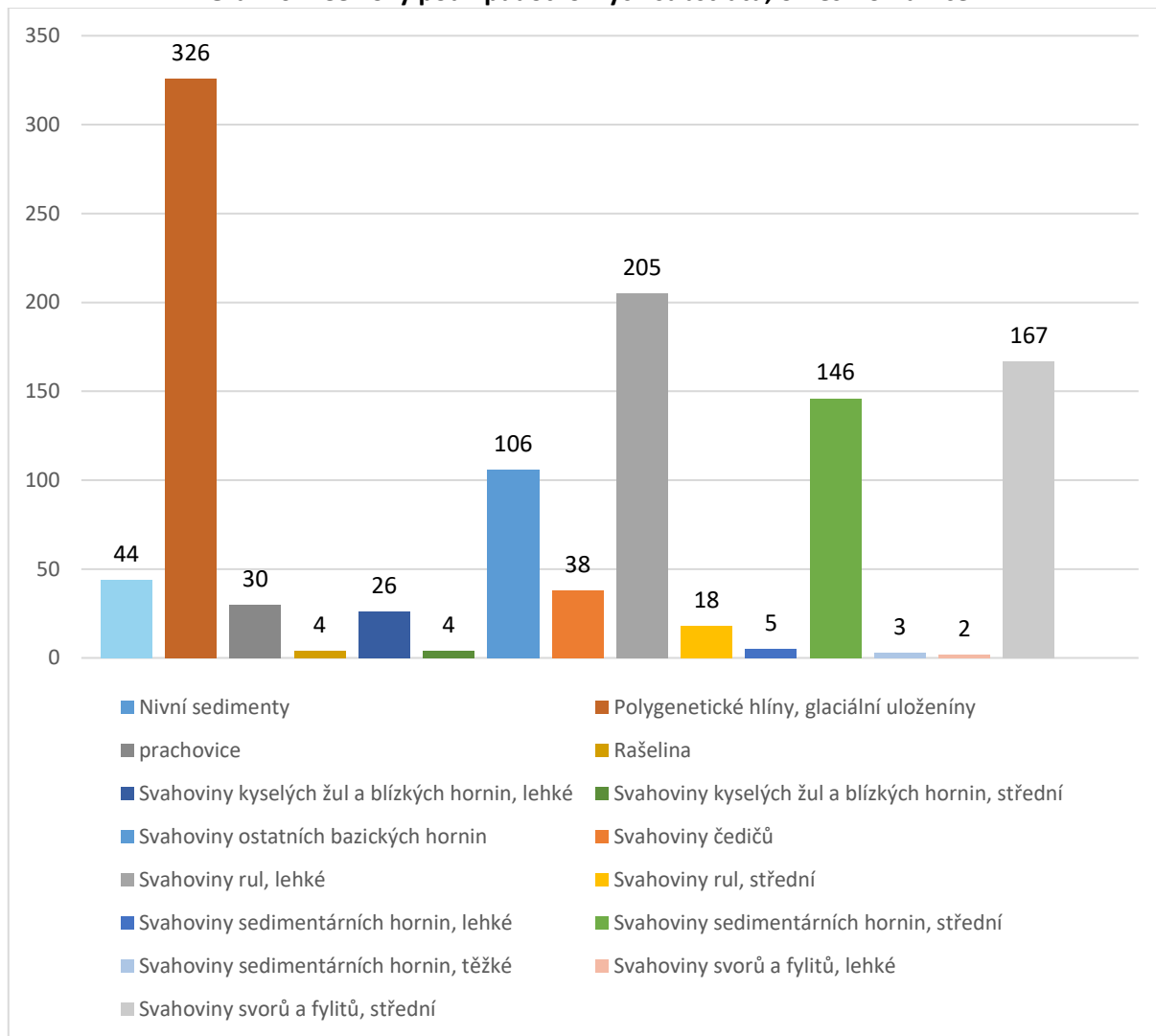
Graf 9 – Hnědozem – orientace ke světovým stranám



Zdroj: SRTM, vlastní zpracování

Graf 9 je grafickým zpracováním orientace hnědozemě. U grafu byla použita hnědá barva, tak aby byl celkový výsledek přehlednější, jelikož v celé této práci včetně map je hnědozem značena hnědou barvou. U hnědozemě lze říci, že nejrozšířenější je východní expozice (30 %), další velmi rozšířená je jihovýchodní orientace (28 %). Nejméně rozšířená je západní expozice (2 %) a severní expozice, která se zde vůbec nevyskytuje.

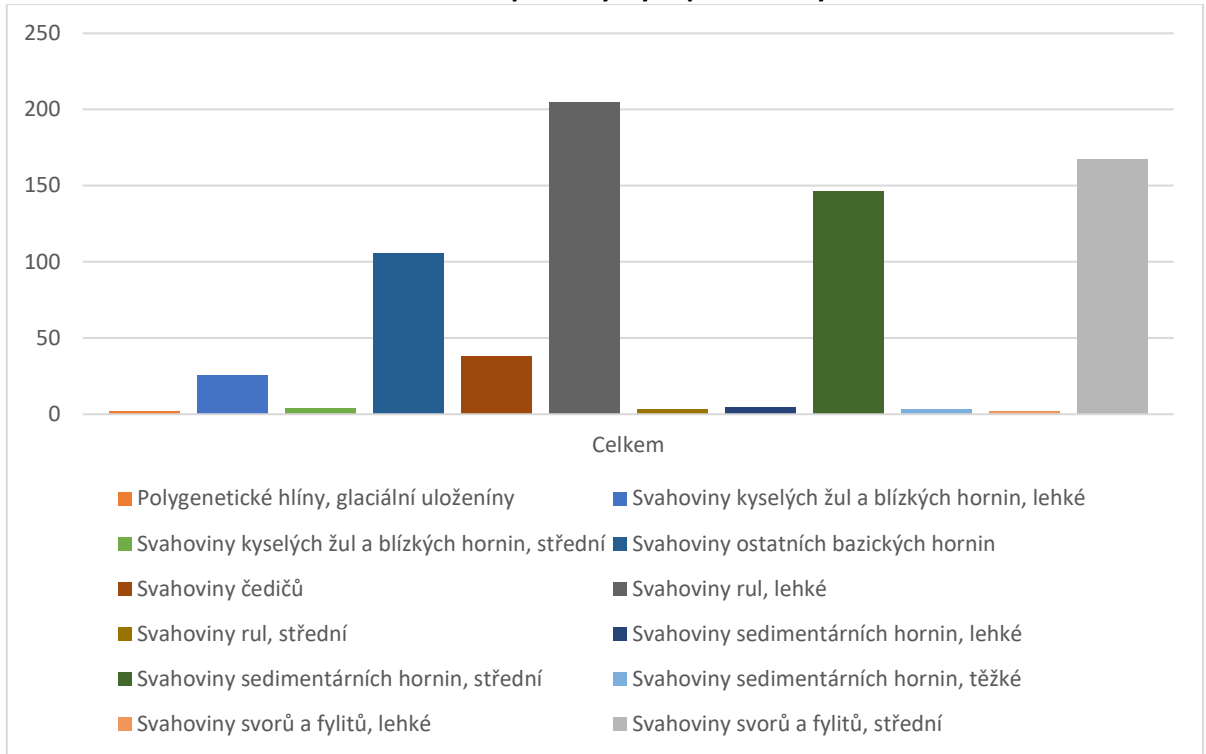
Graf 10 - Celkový podíl půdotvorných substrátů, okres Domažlice



Zdroj: PUGIS, vlastní zpracování

Graf 10 je grafickým zpracováním celkového zastoupení půdotvorných substrátů pro okres Domažlice. Stupnice osy Y stejně jako čísla nad jednotlivými sloupci vyjadřují počet výskytů v databázi bodů 1 x 1 km. Z grafu lze vyčíst, že nejrozšířenější jsou polygenetické hlíny a glaciální uloženiny. Velmi časté jsou také svahoviny rul – lehké, svahoviny svorů a fylitů – střední a svahoviny sedimentárních hornin – střední. Naopak nejméně se na Domažlicku objevují svahoviny svorů a fylitů – lehké.

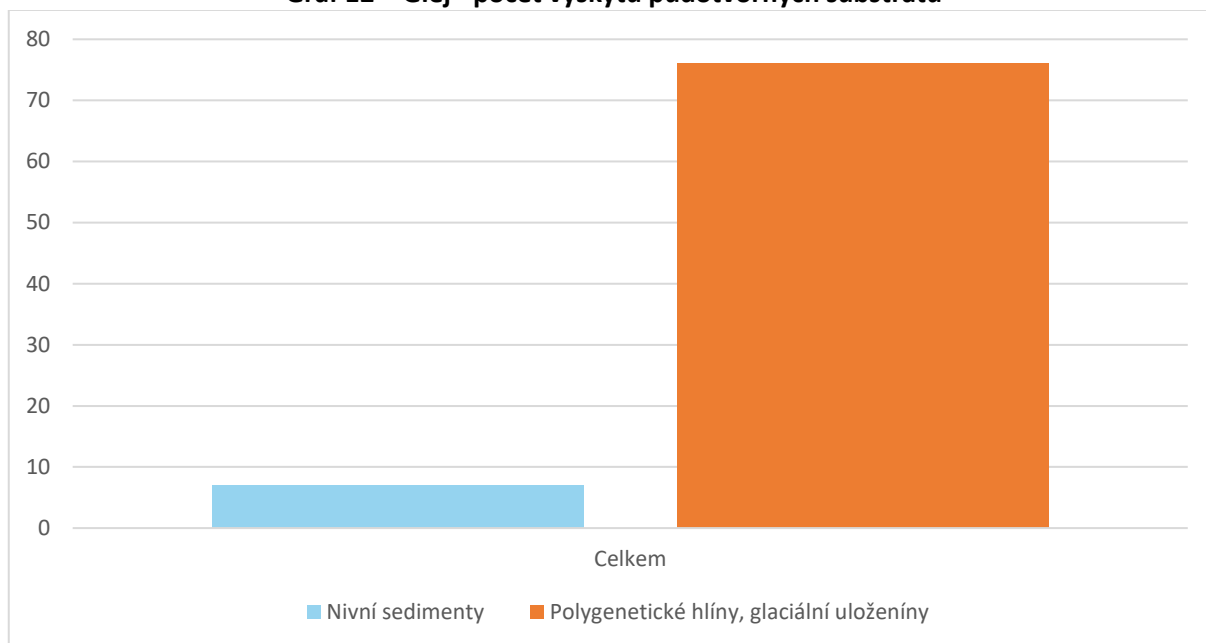
Graf 11 – Kambizem - počet výskytů půdotvorných substrátů



Zdroj: PUGIS, vlastní zpracování

Graf 11 je grafickým znázorněním výskytu půdotvorných substrátů pro kambizem. Nejčetněji se pod tímto typem půdy vyskytovaly lehké svahoviny rul, svahoviny ostatních bazických hornin, střední svahoviny sedimentárních hornin a svahoviny svorů a fylitů – střední. Ačkoliv jsou ostatní substráty pod tímto typem půdy k nalezení spíše výjimečně, jedná se přesto o půdní typ s nejrozmanitějším složením substrátu. To je však pravděpodobně dáno faktem, že kambizem zaujímá největší rozlohu ve sledovaném okrese, což lze pozorovat v grafu 1 této kapitoly.

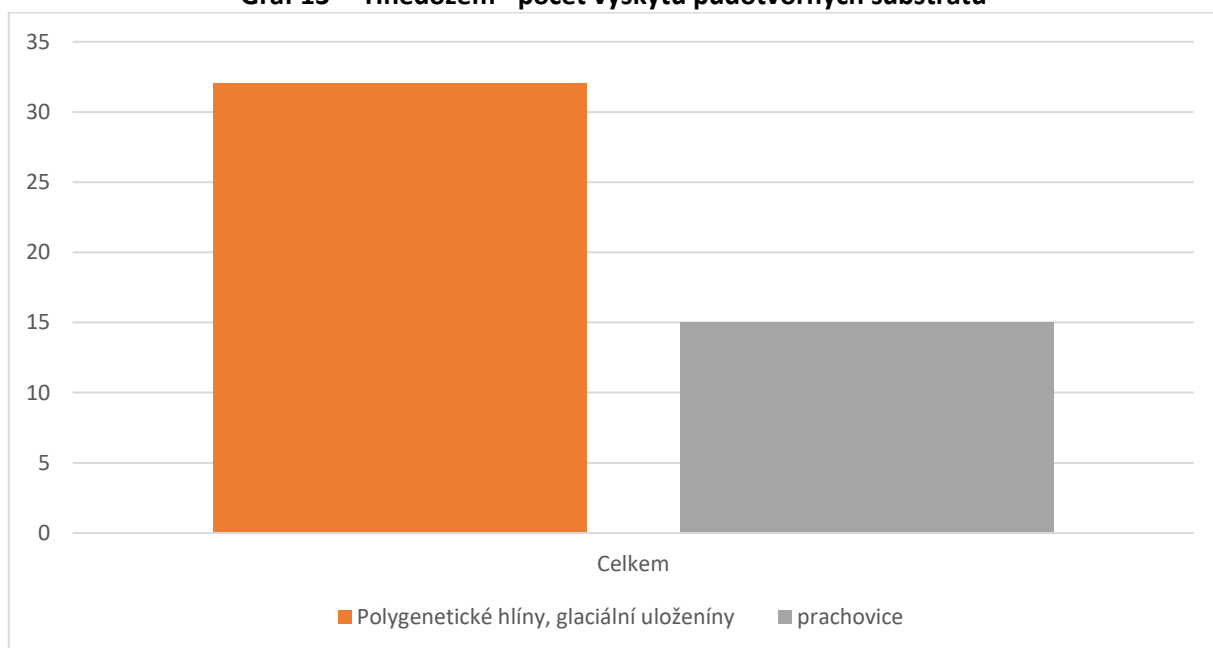
Graf 12 – Glej - počet výskytů půdotvorných substrátů



Zdroj: PUGIS, vlastní zpracování

Graf 12 je grafickým znázorněním výskytu půdotvorných substrátů půdního typu glej. Půdní typ glej se vyskytuje na dvou skupinách půdotvorných substrátů: 1) polygenetické hlíny, glaciální uložení a 2) nivní sedimenty, což může být zapříčiněno tím, že půdy typu glej se zde vyskytují v nižších polohách.

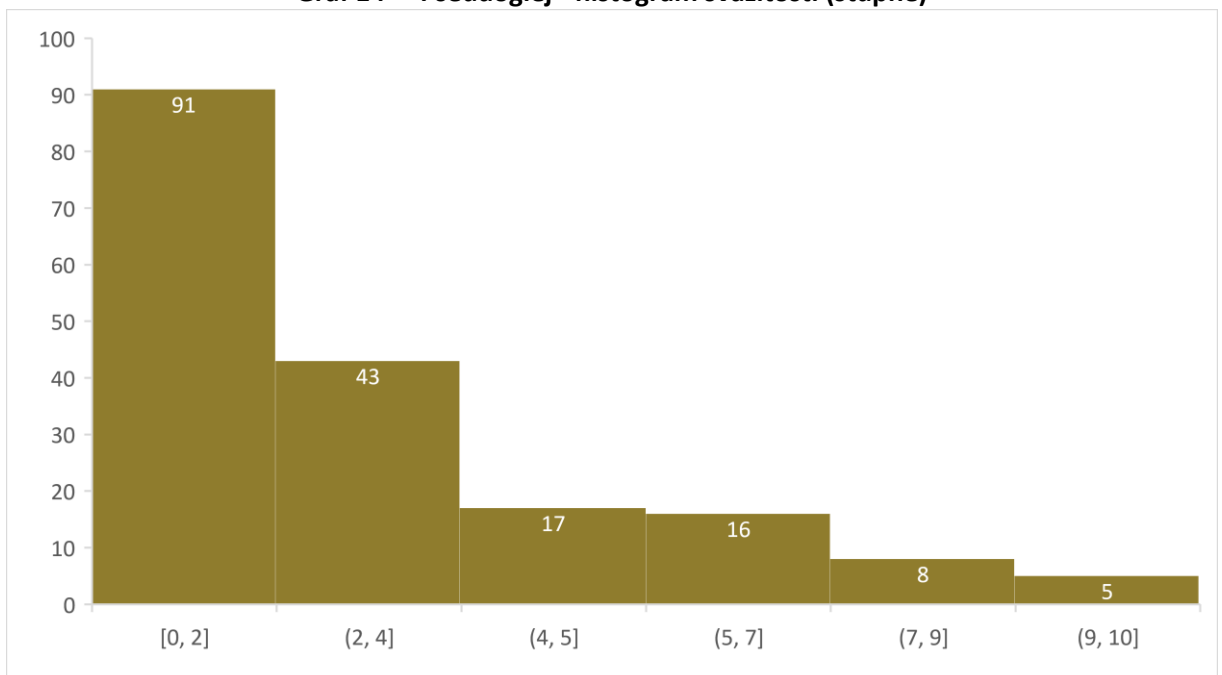
Graf 13 – Hnědozem - počet výskytů půdotvorných substrátů



Zdroj: PUGIS, vlastní zpracování

Graf 13 je grafické znázornění výskytu půdotvorných substrátů pro hnědozem. Z grafu lze vypočítat, že jsou zde zastoupeny dvě složky: 1) polygenetické hlíny, glaciální uloženiny a 2) prachovice. Tyto dvě složky jsou zastoupeny i u luvizemě a pseudogleje. Ve větší míře jsou zde zastoupeny polygenetické hlíny a glaciální uloženiny, než prachovice, stejně jako u luvizemě a pseudogleje (viz příloha).

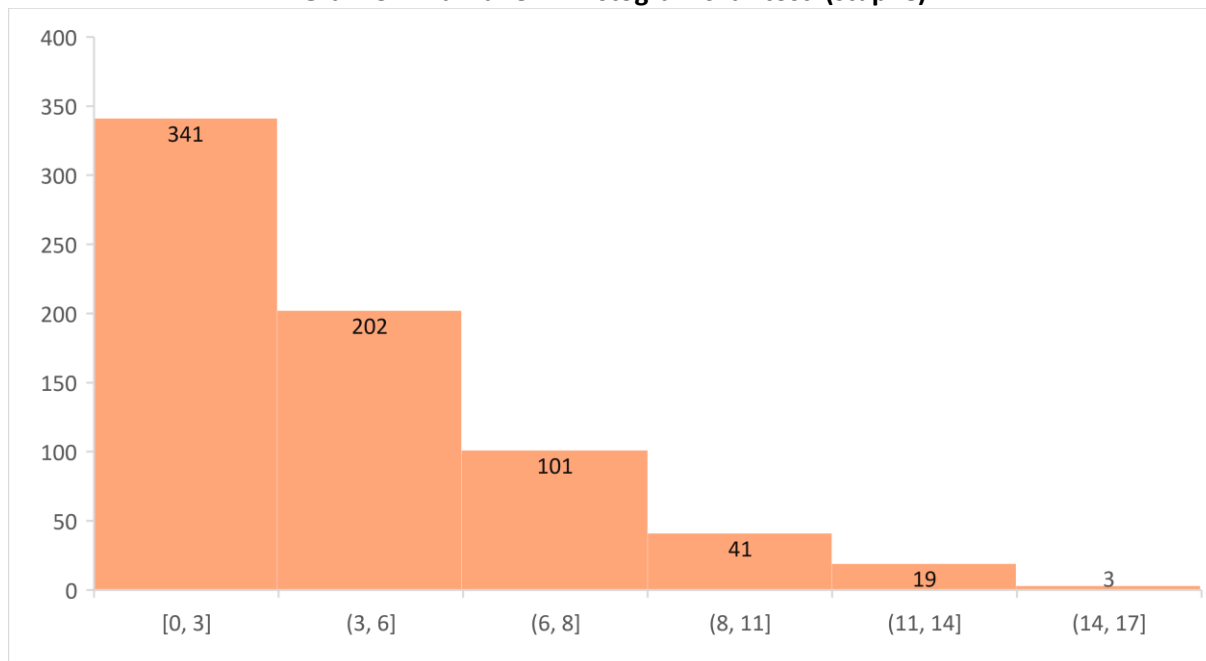
Graf 14 – Pseudoglej - histogram svažitosti (stupně)



Zdroj: SRTM, vlastní zpracování

Graf 14 je grafickým znázorněním histogramu svažitosti. Histogram pro pseudoglej ukazuje, že ze všech měření nevyšla svažitost větší než v rozmezí mezi 9 a 10 stupni, a to v pěti pozorováních. Nejčastěji vyskytující se svažitost u půd typu pseudoglej je 0 až 2 stupně, která v tomto případě byla pozorována 91x. Histogram potvrzuje, že pseudogleje jsou nejrozšířenější ve spíše rovinatějších územích (odpovídá popisu v rešerši). Povrch je zde často mírně členitý, tzn. voda se nezadržuje, ale stéká. Se svažitostí vzrůstá odtok a zmenšuje se ovlhčení půdy.

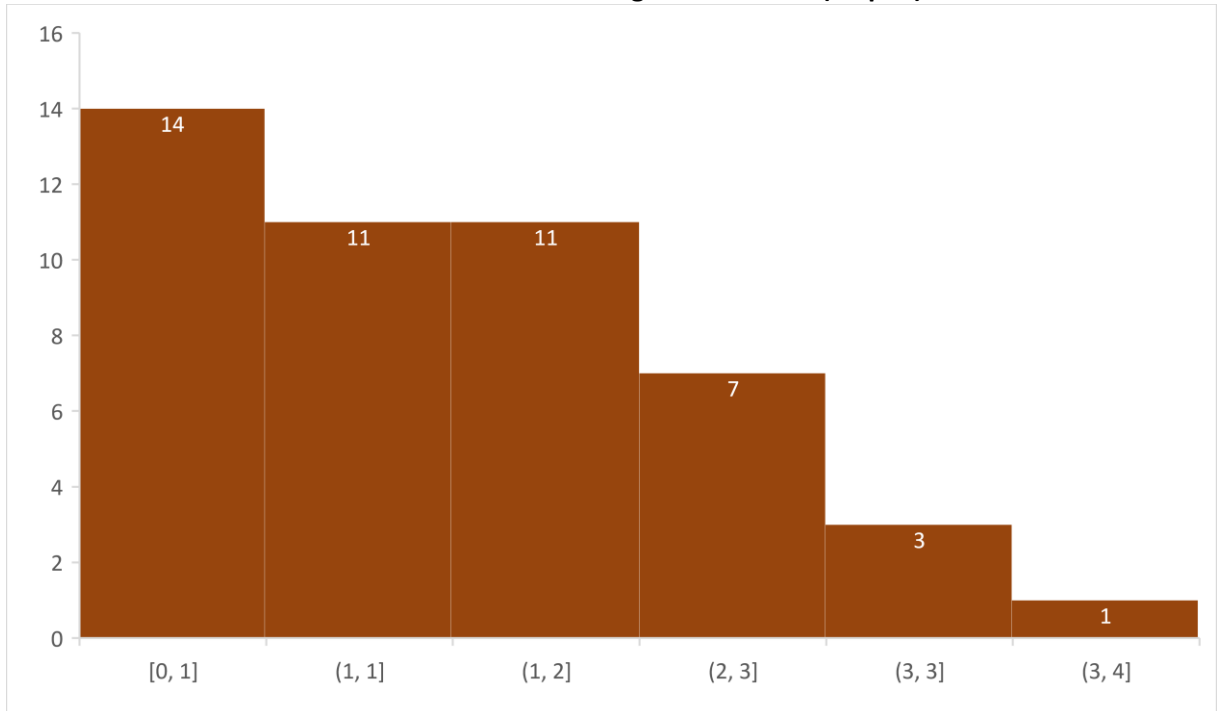
Graf 15 – Kambizem - histogram svažitosti (stupně)



Zdroj: SRTM, vlastní zpracování

Graf 15 je grafickým znázorněním histogramu svažitosti pro kambizem. Histogram pro kambizem ukazuje, že ze všech bodů se maximální svažitost pohybuje v rozmezí 14 až 17 stupňů, ovšem pouze ve 3 pozorováních. Nejčastěji zde byla pozorována svažitost od 0 do 3 stupňů, a to v 341 případech. Tyto výsledky souvisejí s tím, že kambizemě jsou v Domažlickém okrese ve vyšších nadmořských výškách. Odtok vody zde vzrůstá a zmenšuje se ovlhčení vody. Se stoupajícím sklonem svahu dochází k nárůstu povrchového odtoku a tím i k menší infiltraci srážkové vody do půdy. Se sklonem svahu vzrůstá i půdní eroze tekoucí vodou.

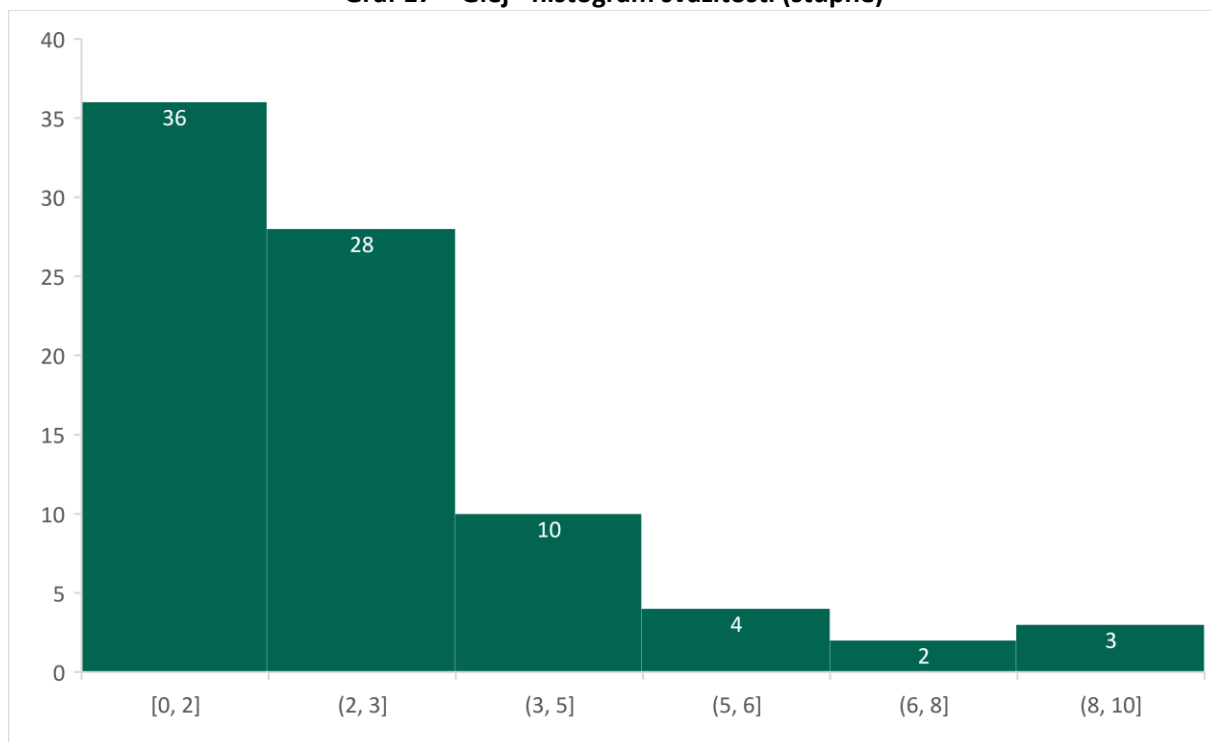
Graf 16 – Hnědozem - histogram svažitosti (stupně)



Zdroj: SRTM, vlastní zpracování

Graf 16 je grafickým znázorněním histogramu svažitosti pro hnědozem. Histogram pro hnědozem ukazuje, že ze všech měření u hnědozemě nevyšla svažitost větší než mezi 3 a 4 stupni, a to v jednom pozorování. Nejčastěji zde byla pozorována svažitost od 0 do 3 stupňů ve 14 pozorováních. Definice půd v části rešerše uvádí, že nejčastěji se hnědozemě vyskytují v okrajových částech nížin či v nižším stupni pahorkatin, což v tomto případě odpovídá vytvořenému histogramu svažitosti.

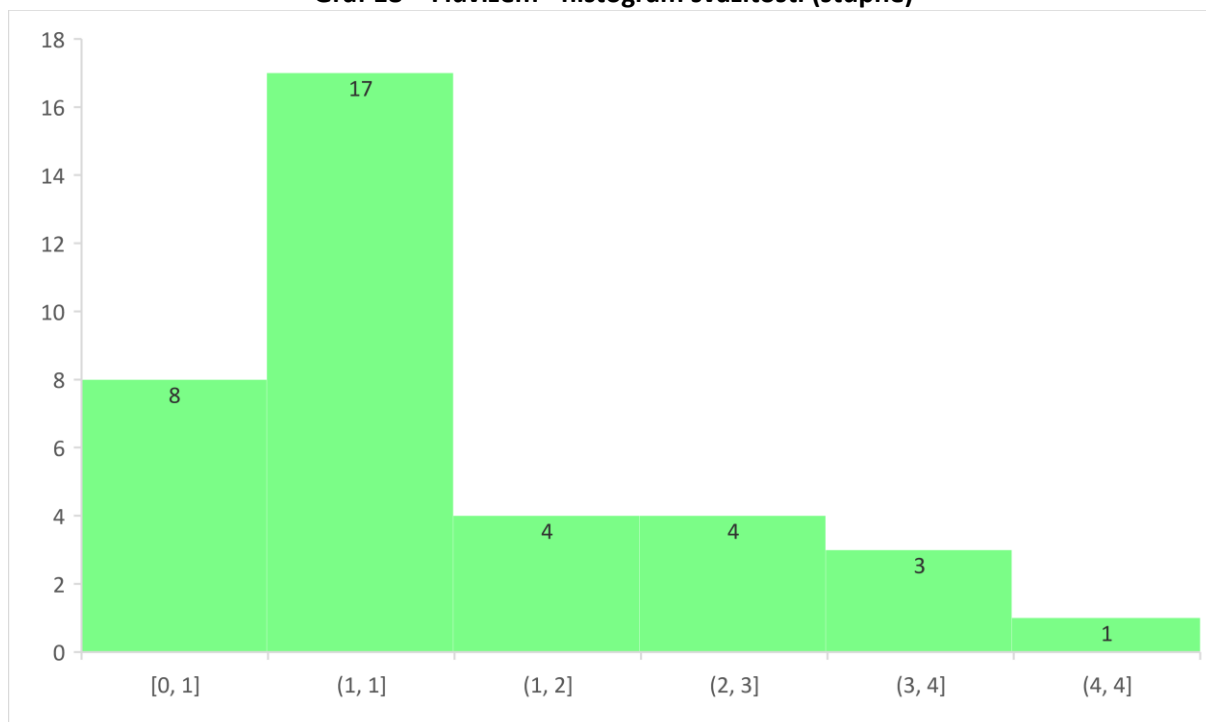
Graf 17 – Glej - histogram svažitosti (stupně)



Zdroj: SRTM, vlastní zpracování

Graf 17 je grafickým znázorněním histogramu svažitosti pro glej. Histogram pro glej ukazuje, že ze všech měření se maximální svažitost pohybuje v rozmezí 8 až 10 stupni, ovšem pouze ve 3 pozorováních. Nejčastěji zde byla pozorována svažitost od 0 do 2 stupňů, a to v 36 případech. Mapy společně s grafem potvrzují, že gleje se v Domažlickém okrese vyskytují především v zamokřených úpadech a v nivách vodních toků.

Graf 18 – Fluvizem - histogram svažitosti (stupně)



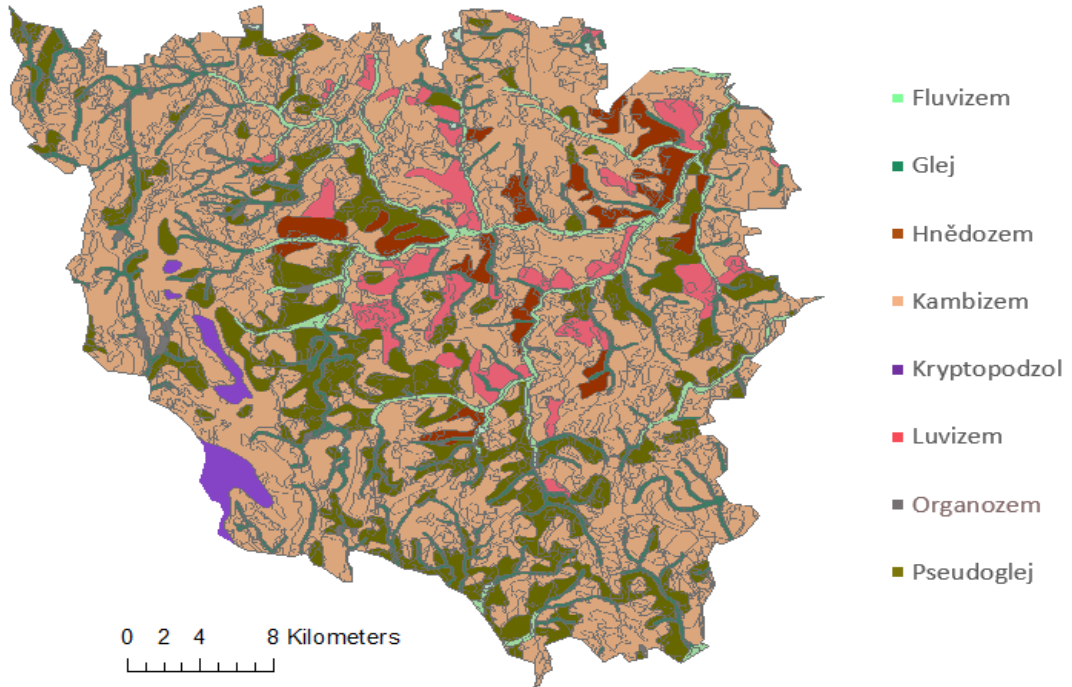
Zdroj: SRTM, vlastní zpracování

Graf 18 je grafickým znázorněním histogramu svažitosti pro fluvizem. Histogram pro fluvizem ukazuje, že ze všech měření nevyšla svažitost větší než 4 stupně, a to v jednom pozorování. Nejčastěji vyskytující se svažitost u půd typu fluvizem je v jednom stupni, který v tomto případě byl pozorován 17x. Z histogramu lze vyčíst, že svažitost fluvizemě v Domažlickém okrese je poměrně vyrovnaná. Histogram společně s mapami potvrzují, že fluvizemě se vyskytují na fluviálních sedimentech v nivách řek či větších potoků (odpovídá popisu v rešerši). Povrch zde není nijak výrazně členitý, tzn., že odtok je nižší a voda je spíše zadržována.

5.2 Porovnání stávajících půdních map

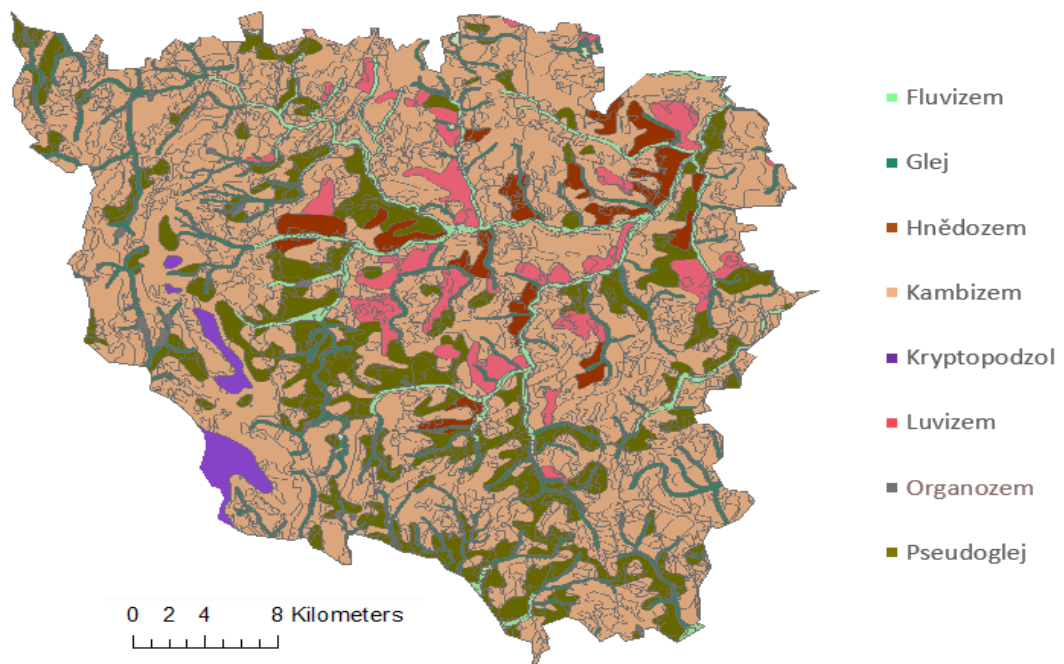
Tato kapitola je věnována srovnání stávajících půdních map.

Mapa 1 - Půdní mapa v systému SOTER (SOil and TErrain - 1:250 000)



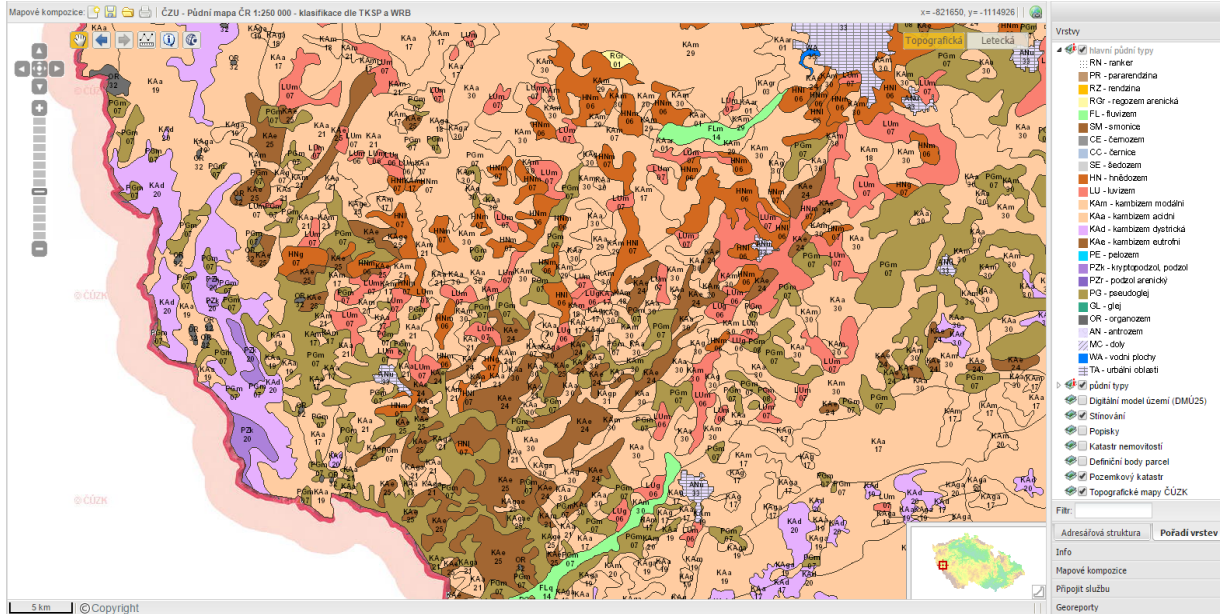
Zdroj: databáze půd KPOP, vlastní zpracování v programu ArcGIS

Mapa 2 - Půdní mapa 1:250 000 podle Atlasu půd ČR (Kozák et al., 2009)



Zdroj: databáze půd KPOP, vlastní zpracování v programu ArcGIS

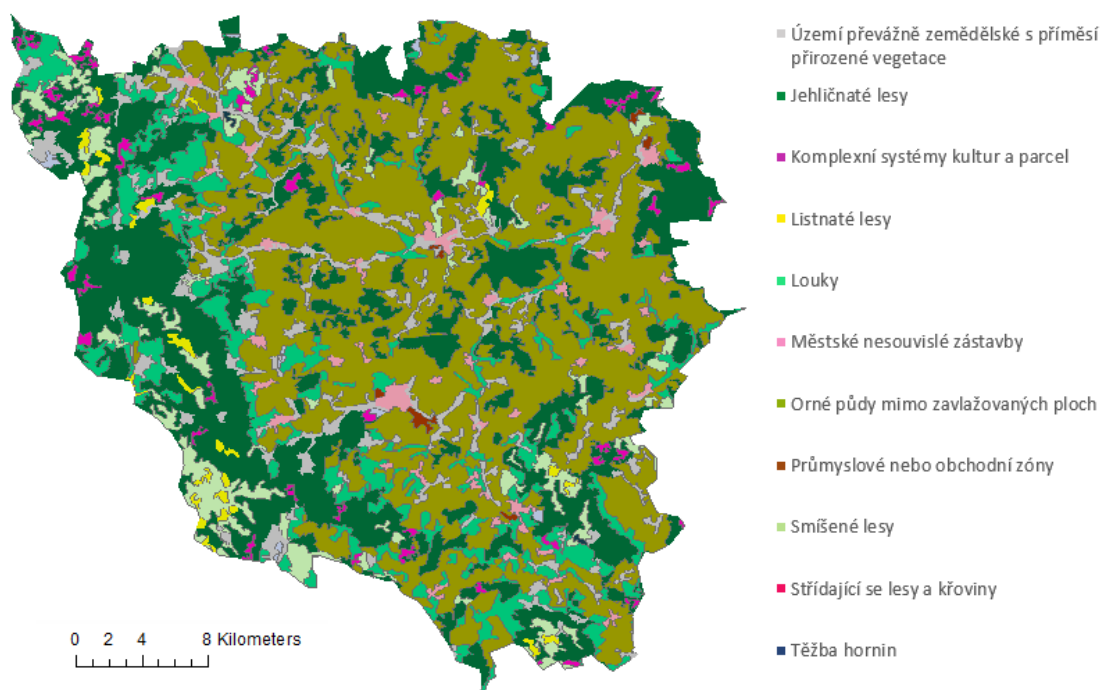
Mapa 3 - Půdní mapa 1:250 000 na Národním geoportálu INSPIRE, klasifikace dle TKSP



Zdroj: geoportal.gov.cz

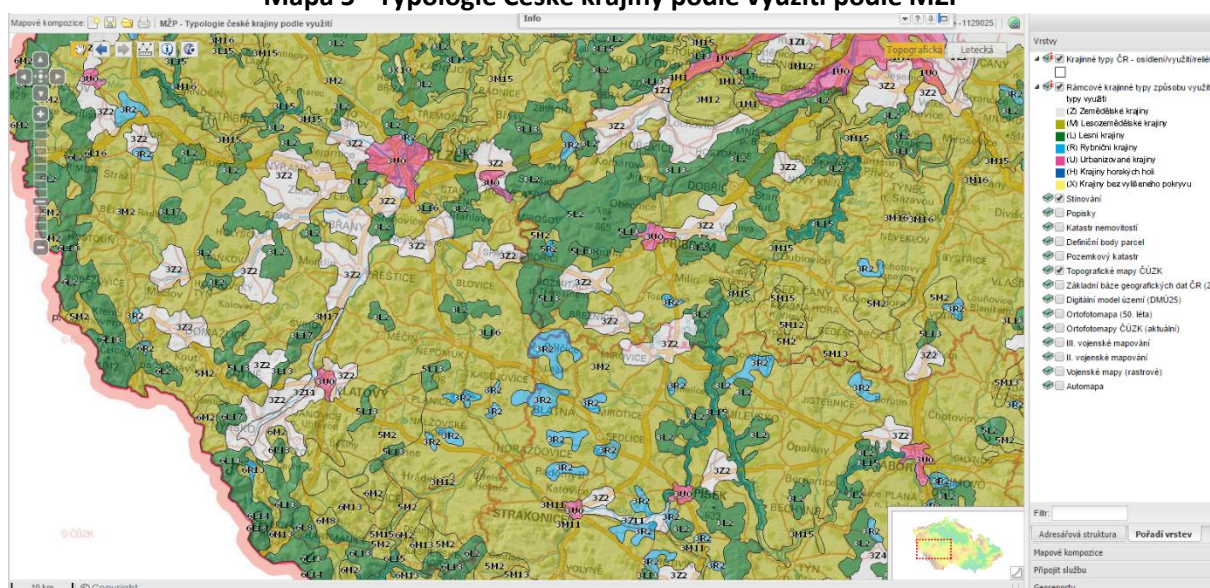
Na již existující mapách si lze ověřit, že nejrozšířenějším půdním typem v Domažlickém okrese je kambizem. Dalšími poměrně rozšířenými půdními typy jsou pseudogleje a luvizemě, kde se existující mapy rovněž shodují. Naopak v Domažlickém okrese se téměř nevyskytují organozemě, což lze rovněž ověřit na mapě. Zajímavé je, že mapy č. 1 a 2 navíc zaznamenávají i půdy typu glej a fluvizem, které jsou typické pro nívné či zamokřené oblasti a na mapách se táhnou skrze celé území. Zde se mapa z internetové stránky geoportál č. 3 liší, zaznamenává glej a fluvizem pouze na dvou místech, a to v severní a jižní části snímku. Na mapě č. 3 si lze všimnout, že je celkově méně podrobná než předchozí dvě mapy. Důležité je zmínit, že mapa SOTER je totožná s půdní mapou 1:250 000 dle Atlasu půd ČR (zdroj v obou případech: KPOP) a velice podobná mapě SYNTSOIL, která už není tak podrobná. Vše odpovídá vytvořenému grafu 1, který ukazuje procentuální podíl půdních typů v okrese Domažlice.

Mapa 4 - Rozložení ploch podle účelu dle databáze CORINE, 1:250 000



Zdroj: databáze KPOP, vlastní zpracování v programu ArcGIS

Mapa 5 - Typologie České krajiny podle využití podle MŽP

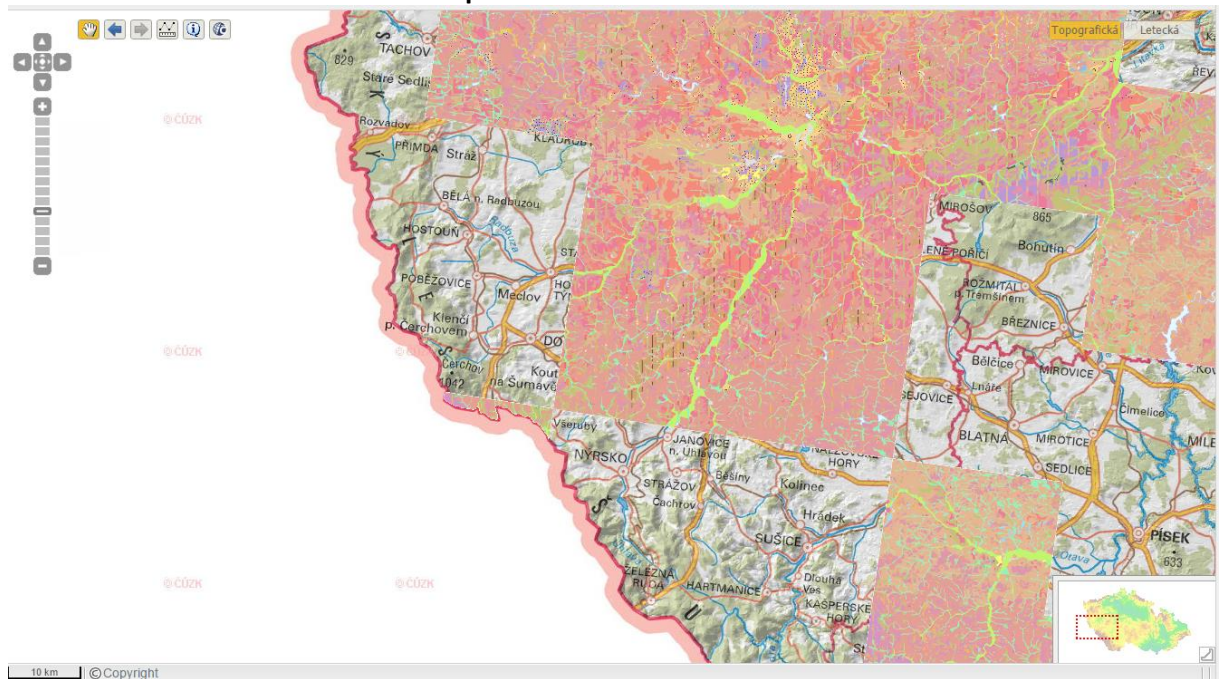


Zdroj: geoportal.gov.cz

Mapa č. 4 je podrobněji zpracovaná, jelikož ukazuje 11 typů využití krajiny, oproti mapě č. 5, která jich ukazuje pouze 7. Mapa č. 4 ukazuje, že nejrozšířenějším typem jsou orné půdy mimo zavlažovaných ploch, následované jehličnatými lesy a loukami. Tato mapa navíc lesní plochy zobrazuje podrobněji, jelikož jsou rozdělené na jehličnaté, listnaté a smíšené lesy. Naopak mapa č. 5 zobrazuje všechny lesní plochy dohromady. Tato mapa se liší v tom, že

jako nejrozšířenější využití ploch uvádí lesozemědělské krajiny, poté lesní krajiny. Mapy jsou si podobné, ovšem v názvech využití ploch jsou poněkud odlišné. Mapa č. 4, co se využitím krajiny týče, odpovídá grafu 3, z kterého je možné vyčíst procentuální zastoupení ploch.

Mapa 6 – Neúplnost digitalizace půdní mapy – pokrytí zájmového území digitalizovanou půdní mapou ČGS v měřítku 1:50 000



Zdroj: geoportal.gov.cz

Na mapě č.6 (geoportal.gov.cz) je patrná neúplnost a nenávaznost digitalizované půdní mapy ČGS. Digitalizovanou půdní mapou je pokryta pouze část okresu Domažlicko, pohraniční oblasti jsou téměř nepokryty. Tato mapa by měla být z dostupných map nejpodrobnější, ale není pro celý okres dokončena.

5.3 Tvorba modelů

V následující části se diplomová práce zabývá tvorbou modelů v programu Statistica 12 a následnou aplikací těchto modelů na mapová data zkoumaného okresu 1x1 km. Tato méně podrobná mapová data v sobě zahrnují informace o půdních typech. Cílem je tvorba a selekce takového modelu, který dokáže nadefinovat ex post jednotlivé typy půdy s co možná nejmenší chybou vůči těmto předem známým půdním typům.

Smyslem této tvorby a následné selekce optimálního modelu je následné využití tohoto modelu pro predikování půdních typů v mapových datech 100x100 m sledované oblasti, které obsahují doplňkové informace (nadmořská výška, svažítost, orientace vůči světovým stranám, vertikální zakřivení, horizontální zakřivení, index sbíhavosti, sběrná plocha, topografický index, faktor sklonu, úroveň údolnic, vertikální vzdálenost k údolnici, relativní poloha na svahu, vegetace a půdotvorný substrát), avšak neobsahují již informaci o půdních typech.

Mezi čtyři matematické modely, které jsou testovány na co nejmenší chybovost vůči datům 1x1 km, jsou zahrnuty modely umělých neuronových sítí (neural networks), rozhodovacích stromů (boosted decision trees), náhodných lesů (random forests) a general CHAID. Všechny čtyři modely mají předpoklady pro vysvětlení jednotlivých půdních typů na základě zmiňovaných doplňkových informací (McBratney et al., 2003).

Tabulka 1 – Porovnání míry chybovosti jednotlivých modelů

Model	Míra chybovosti
Neural networks	15,57 %
Boosted decision trees	16,11 %
Random forest	17,44 %
General CHAID	22,15 %

Zdroj: Statistica, vlastní zpracování

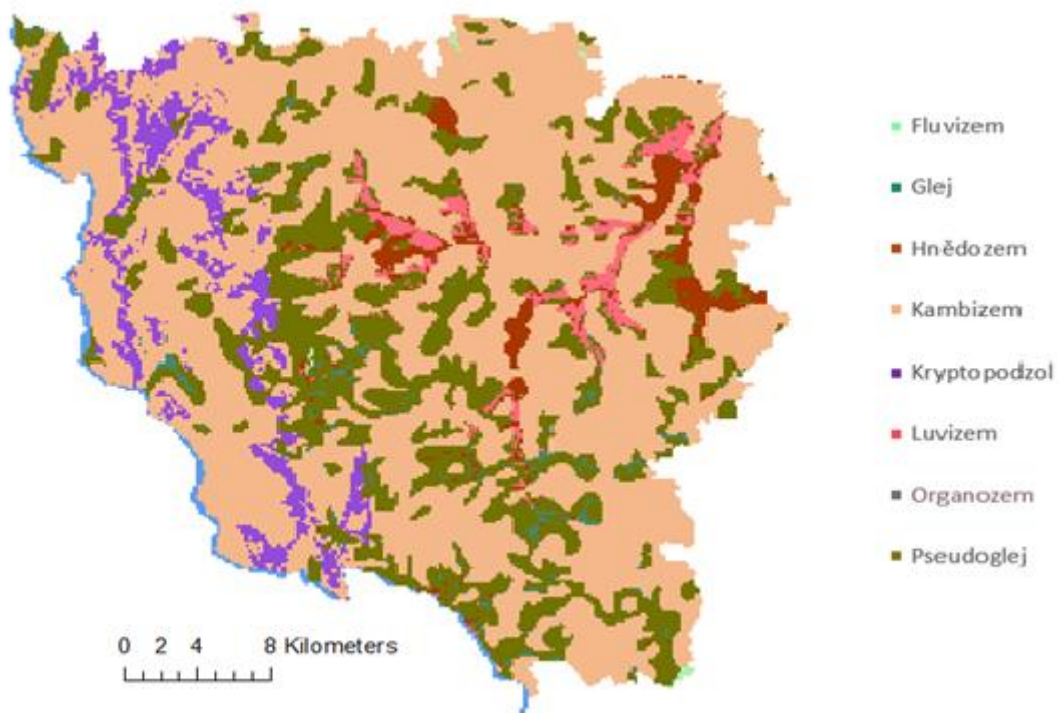
Tabulka 1 již ukazuje výsledné míry chybovosti jednotlivých modelů. Lze říci, že si nejlépe vede model neuronových sítí, který dokázal vysvětlit předem známé půdní typy pomocí

zmiňovaných doplňkových informací ve více jak 84 % případů. Modely rozhodovacích stromů a náhodných lesů si však nevedly o moc hůře, jelikož míra chybovosti obou těchto modelů nepřesáhla ani v jednom případě 18 %. Nejhorší si vedl model general CHAID, který odhadl půdní typy chybně v 22,15 % případů.

5.4 Výsledná mapa

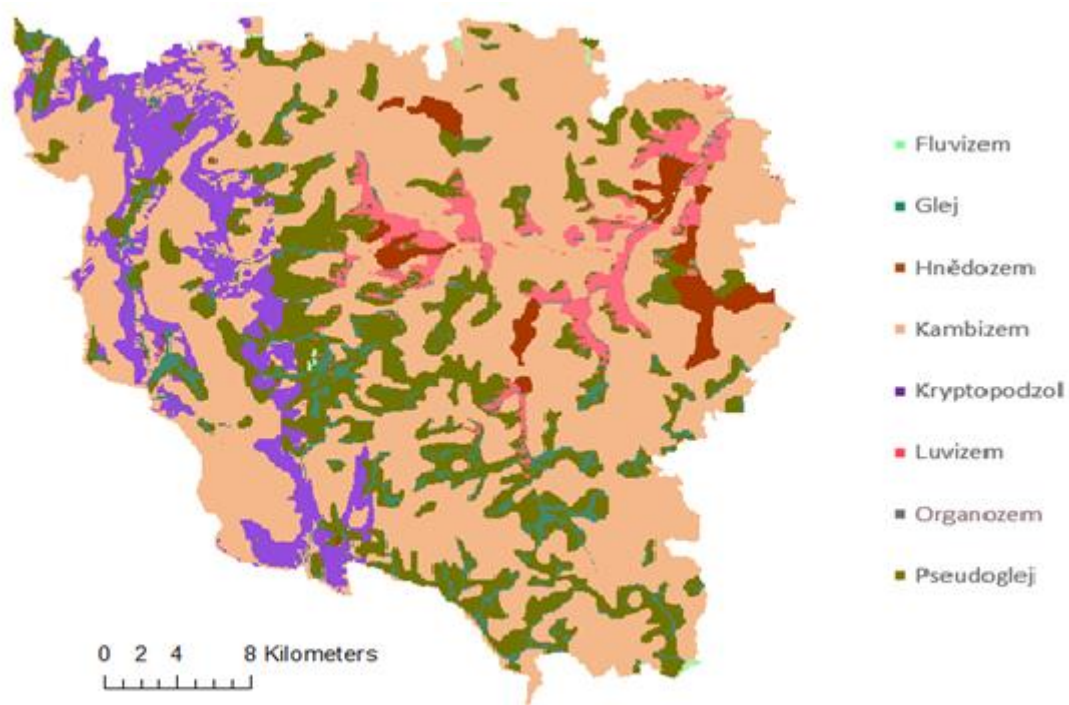
Pro vytvoření výsledné mapy v síti 100x100 m v programu ArcGIS byl využit model neuronových sítí. Tento model se vyznačuje nejmenší mírou chybovosti (15,57 %) při porovnání výsledných predikovaných dat ex post. Lze tak předpokládat, že se jedná o nejvhodnější model pro predikci půdních typů na základě daných doplňkových dat.

Mapa 7 - Půdní mapa vytvořená v programu ArcGIS pomocí modelu umělých neuronových sítí, rastrová (100x100 m)



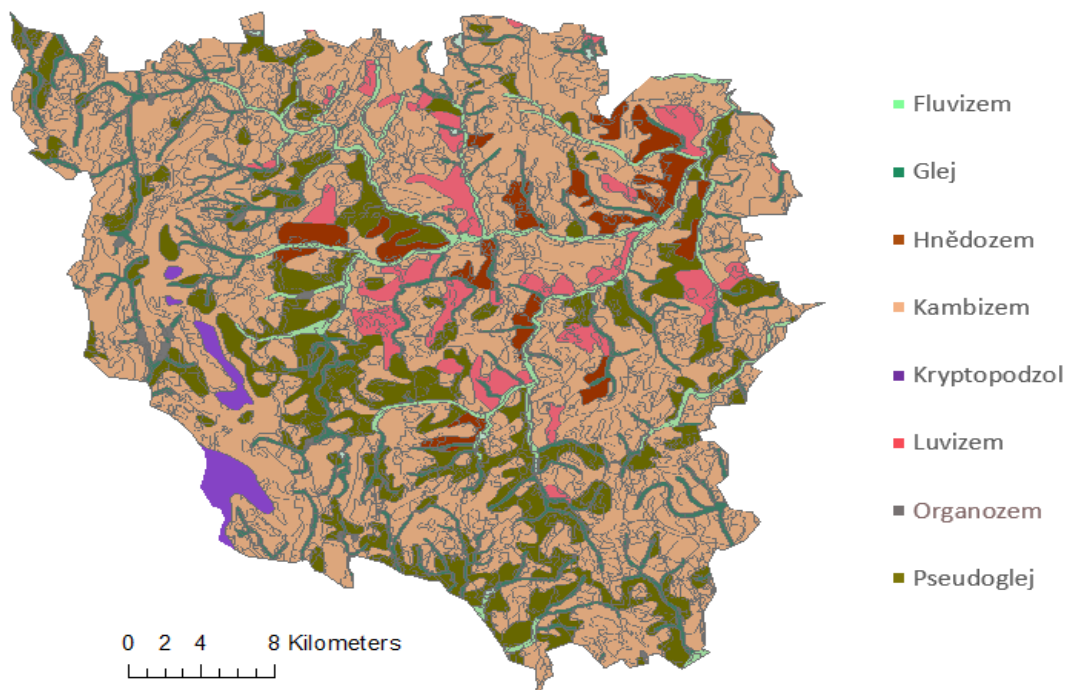
Zdroj: vlastní zpracování v programu ArcGIS

Mapa 8 - Půdní mapa vytvořená v programu ArcGIS pomocí modelu rozhodovacích stromů, rastrová (100x100 m)



Zdroj: vlastní zpracování v programu ArcGIS

Mapa 9 - Půdní mapa v systému SOTER (SOil and TErrain - 1:250 000), polygonová



Zdroj: databáze půd KPOP, vlastní zpracování v programu ArcGIS

Mapa 7 je nově vzniklá půdní mapa, která byla vytvořena v programu ArcGIS s pomocí modelu s nejmenší chybovostí, jenž se nazývá umělé neuronové sítě (neural networks). Tato mapa byla převedena z rastrové mapy do podoby polygonové. Stejně tomu je u mapy 8, avšak tato mapa byla vytvořena pomocí modelu rozhodovací stromy (boosted decision trees), kde byla zjištěna zanedbatelně větší míra chybovosti a je zde uvedena pro vizuální porovnání s mapou 7. Mapa 9 je příkladem existující polygonové mapy pro okres Domažlice pro srovnání s vytvořenými mapami.

Největší rozdíl mezi mapami 7, 8 a 9 je ten, že nově vytvořené mapy (mapy 7 a 8) jsou v rastrové podobě, oproti původní mapě (mapa 9), která je v podobě polygonové. Velký vizuální rozdíl je ten, že nově vytvořené mapy nejsou tak podrobně vykreslené jako původní mapy. Dalším významným rozdílem je, že rastrové mapy mají lehce odlišný tvar ploch jednotlivých půdních typů oproti původní mapě, což lze spatřit na východní straně obou nových map. Dále si lze všimnout, že rozložení půdních typů se oproti původní mapě změnilo. Patrné je, že přibyly plochy půdního typu kryptopodzol po celé západní straně obou map. Naopak ubyly plochy fluvizemě a zcela zmizela organozem. O něco méně patrná změna nastala u hnědozemě, která směrem do středu okresu nepatrně ubyła. Luvizem zůstala téměř stejná a změny v tomto případě nejsou tak výrazné. Půdní typ glej také významně zmenšil své zastoupení, a to pravděpodobně proto, že není významně odlišný od půdního typu pseudoglej a tyto dva typy půd bývají oběma modely často zaměňovány. Na všech třech mapách lze také pozorovat, že nejrozšířenějším půdním typem je kambizem. Pravděpodobně to bude zapříčiněno tím, že jsou to půdní typy vzniklé především ve svažitých podmínkách pahorkatin, což potvrzuje poloha okresu Domažlice.

6 Diskuze

Diplomová práce se zabývá harmonizací půdních map s využitím principů digitálního mapování půd. Jedním ze současných problémů mapování je fakt, že v historii mapy půd nebyly vytvářené synergicky. Různé typy map vznikaly v historii na základě rozdílných metodik, což zapříčiňuje časté nesoulady těchto map, jako např. na sebe nenavazující hranice půdních jednotek apod.

Hlavními úkoly tohoto směru mapování půd je velké množství dat (McBratney et al., 2003). Není možné vytvářet podrobné a přesné mapy, pokud není k dispozici dostatek přesných vstupních údajů pro tvorbu těchto map (Kozák et al., 2009).

Potenciálním řešením tohoto problému by mohlo být nové přezkoumání půd v terénu a vytvoření nového uceleného systému map. To se však jeví jako velice nákladné a jak ukazuje mnoho různých prací i zbytečné (Collard et al., 2014; Boettinger et al., 2010).

Za řešení lze považovat digitální mapování půd, za jehož pomoci lze vytvářet přesné mapy s využitím doplňkových údajů, jako např. údaje o reliéfu, vegetaci, či geologickém podloží. Collard et al. (2014) ve své studii zkoumali přínos digitálního mapování půdy ve francouzské Normandii, kdy mapu v měřítku 1:250000 pomocí této metody aktualizovali. Původní mapa z roku 1988 obsahovala 9 různých typů půdy, přičemž těchto 9 půdních typů bylo nově predikováno na základě doplňkových údajů. Výsledkem práce byla přesnější mapa této oblasti bez potřeby nového terénního průzkumu půd.

Adhikari (2013) ve své studii aplikovali digitální mapování půd v Dánsku, jež se pyšní bohatou historií využívání technik digitálního mapování pro tvorbu map. Ve své studii aplikovali 17 různých typů doplňkových dat, mezi které zahrnuli např. využití půdy, území mokřin, digitální elevační model a jiná odvozená data. Výsledkem byla mapa, která nečekaně ukázala, že podzoly a luvisoly byly nejčastějšími půdními skupinami. Tyto půdní typy pokrývají více než dvě třetiny celého Dánska (Adhikari et al., 2013).

Balkovič et al. (2013) ve své studii nejprve zkoumali slovenskou oblast Rišňovce, ve které prováděli sběr dat půdních profilů. Následně pomocí digitálního mapování půd porovnávali, jak moc se výsledky liší, přičemž došli k závěru, že digitální mapování představuje

plnohodnotnou alternativu k tradičním časově a finančně náročným sběrům dat tzv. v poli (Balkovič et al., 2013).

Obdobný přístup je použit v této diplomové práci, kdy je digitální mapování půd aplikováno na okres Domažlice, přičemž se práce opírá o dva typy dat. Nejprve to jsou obecnější mapová data Domažlického okresu v síti 1x1 km, která obsahují informace o půdních typech. A za druhé jsou to podrobná mapová data v síti 100x100 m, která sice obsahují veškeré doplňkové informace, avšak neobsahují informace o typech půdy. Cílem práce je vytvoření matematického modelu predikce půdních typů na menším vzorku dat, kde dochází k ex post stanovení chybovosti jednotlivých modelů, a následná aplikace nejhodnějšího modelu na vzorku, který informace o půdních typech neobsahuje. Tato modelovaná data jsou následně využita k vykreslení mapy v programu ArcGIS.

Hlavními metodami, které byly použity k predikování půdních typů, byl model umělé neuronové sítě (neural network), rozhodovací stromy (boosted decision trees) a náhodné lesy (random forest). Tyto modely predikce půdních atributů byly aplikovány na data v síti 1x1 km, která obsahují informaci o půdních typech. Mezi doplňkové údaje, dle nichž docházelo k predikci typů půd byly zahrnuty jak údaje spojité (nadmořská výška, svažitost, orientace apod.), tak údaje kategorické (vegetace, půdotvorný substrát).

Jako model s nejmenší chybovostí byl stanoven model neural network, dokázal vysvětlit předem známé půdní typy pomocí zmiňovaných doplňkových informací ve více než 85 % případů. Je nutné však podotknout, že i ostatní metody dosahovaly chybovosti obdobné, v úrovni 15-17 %, takže nelze plošně říci, že by jako metody predikce půdních atributů nebyly vhodné. Z tohoto důvodu byly vybrány dvě metody pro další zkoumání – metoda neural network jako metoda hlavní a dále metoda boosted trees jako metoda druhé volby, jejíž chybovost vyšla jen o necelý jeden procentní bod hůře než u metody předchozí.

Metoda neural network se snaží vytvářet matematický model, který je verzí extrémně zjednodušeného lidského mozku. Tento model přetváří vstupy v co nejlepší možné výstupy na základě poskytnutých dat, tedy v případě této diplomové práce na základě doplňkových informací. Výhodou této metody je její schopnost učit se a generalizovat výstupy v případě, že je tento model konfrontován s neočekávanými vstupy (Novák, 1998).

Toto vše činí metodu neural networks jedním z nejvíce používaných způsobů predikce půdních atributů v pedologii vůbec (McBratney et al., 2003). Tato metoda byla tedy stanovena jako hlavní metoda pro predikci dat v mapovém souboru 100x100 m.

Metoda decision trees, ze které je metoda boosted decision trees odvozena, spočívá na principu zkoumání všech zadaných proměnných, tedy v našem případě doplňkových informací, a hledání nejpravděpodobnějších výsledných hodnot. Toto rozhodování funguje na principu rozdělení pravděpodobného výsledku vždy právě na dva možné výstupy. Následně je totéž rozhodování provedeno na oba nové výsledky. Tímto způsobem pokračuje popsané větvení, které je ukončeno závěrečnými uzly (Fotr, 2014).

Výhodou takto vytvořeného modelu je, že žádná událost není ze zkoumání vyjmuta, a tak nemůže být v průběhu procesu ztracena. S tímto se však pojí i zásadní nedostatek metody decision trees, a sice že i malá fluktuace v zadaných datech může způsobit velmi rozdílné výsledky. Z tohoto důvodu je v této diplomové práci využita metoda boosted decision trees, která tuto nedokonalost odstraňuje přidáním vážených průměrů do každého větvení.

Obě verze této metody, tedy decision trees i boosted decision trees byly již pro potřeby digitálního mapování půd využity. Metodu decision trees použili ve své studii Bui a Moran (2003), kdy tímto způsobem zkoumali půdní typy napříč oblastí Murray-Darling pánve ve východní Austrálii. Metodu boosted decision trees použili Moran a Bui (2002) pro zlepšení analýzy Bui et al. (1999), aby odstranili vzniklou fluktuační chybu, která byla výše zmíněna.

Dalším krokem této diplomové práce bylo porovnání rozdílů obou modelů predikce půdních typů. Ve více než 90 % případů, kdy se model umělé neuronové sítě (neural networks) neshodoval s původním daty v souboru 1x1 km, uvedl jako chybný půdní typ pseudoglej. Co se týče půdních typů, které uvést měl, lze říci, že byly převážně náhodné. Model boosted trees se choval velice podobně. Z tohoto důvodu bylo provedeno matematické porovnání výsledných hodnot obou modelů a bylo dospěno k tomu, že se liší v méně než jednom procentu případů. Nejen, že byly tedy oba modely velice podobné, co se chybivosti oproti původním datům týče, ale byly téměř totožné i ve výsledných výstupech, což je velice zajímavé. Oba modely, ačkoliv fungují naprosto rozdílně, dospěly k téměř totožným výsledkům. Lze tak konstatovat, že při daných doplňkových datech není podstatné, který

z těchto dvou modelů je pro digitální mapování použit. K obdobným závěrům došel ve své studii i McBratney et al. (2003).

Poslední částí diplomové práce byla tvorba výsledných map a následné porovnání s již existujícími mapami, které jsou veřejně dostupné.

Půdní typ glej ve vzniklé (harmonizované) mapě významně zmenšil své zastoupení, a to pravděpodobně proto, že není svým výskytem významně odlišný od půdního typu pseudoglej a tyto dva typy půd bývají často zaměňovány. Centrem rozšíření obou půdních typů je vrchovina a pahorkatina (Tomášek, 2007). Navíc se ve sledovaném okrese oba půdní typy vytvářejí nejčastěji na stejných substrátech, jak bylo zjištěno v kapitole 5.1.

Na mapách lze pozorovat, že nejrozšířenějším půdním typem okresu Domažlice je kambizem. Pravděpodobně to bude zapříčiněno tím, že kambizem je definována jako půdní typ s hnědým horizontem vyvinutým v hlavním souvrství svahovin metamorfických, zpevněných, magmatických a sedimentárních hornin, ale i jim odpovídajících souvrstvích. Půdy vzniklé především ve svažitých podmínkách pahorkatin, hornatin a vrchovin, ale méně také v rovinatém reliéfu (Němeček et al., 2001).

Menší zastoupení půdního typu fluvizem ve výsledných mapách může být způsobeno tím, že rozlišení 100x100 m je stále příliš hrubé v poměru k běžné šířce niv. Pro tento účel by tedy bylo vhodné vytvořené modely aplikovat na data v ještě hustší síti, např. 30x30 m.

Je zřejmé, že půdy typu kambizem na západní straně ubyly a byly nahrazeny půdním typem kryptopodzol, což může být pravděpodobně zapříčiněno jejich podobnou charakteristikou, že oba půdní typy se nejčastěji vyskytují v horských podmínkách (Němeček et al., 2001). Ověření, zda platí údaje původní mapy nebo odhady získané predikčním modelem, by bylo třeba provést v terénu nebo s využitím nezávislého ověřovacího souboru, nejlépe pomocí existující půdní mapy podrobnějšího rozlišení. Jak je uvedeno výše, digitalizovaná mapa 1:50 000 ČGS ale bohužel není pro celé území okresu k dispozici.

7 Závěr

Bylo potvrzeno, že existují popsitelné vztahy mezi půdními jednotkami a doplňkovými údaji (digitální model reliéfu, využití půdy, vegetace, geologické podloží).

Tyto vztahy byly v rámci práce zhodnoceny. Byly vytvořeny vhodné modely pro predikci půdních jednotek z doplňkových údajů. Z těchto modelů pro digitální půdní mapování byly vybrány umělé neuronové sítě (neural networks) a rozhodovací stromy (boosted decision trees) jako nejvhodnější modely.

S pomocí těchto modelů byla odhadnuta data půdních typů do mapového souboru v síti 100x100 m Domažlického okresu.

Vzniklá (harmonizovaná) mapa zájmové oblasti poukázala na nesoulad mezi původními mapami a mapami stanovenými za pomoci digitálního půdního mapování. Nejčastěji zaměňované půdní typy byly gleje za pseudogleje a kambizem za kryptopodzol.

Vytvořená mapa se ale ve velké míře shoduje s původními mapami.

Tato práce poukázala na to, že DMP je stále rozvíjející se disciplínou, která má v pedologii budoucnost.

8 Seznam literatury

- Adhikari, K., Minasny, B., Greve, B.M., Greve, H.M. 2014. Constructing a soil class map of Denmark based on the FAO legend using digital techniques. *Geoderma*. 214-215. 101-113.
- Baille, I. C. Soil Survey Staff 1999, Soil Taxonomy. Soil Use and Management [online]. 2001. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1475-2743.2001.tb00008.x>
- Balatka, B., et al., 1987. Chodsko – Český les. Olympia Praha. 255 s.
- Balkovič J., Rampašeková Z., Hutár V., Sobocká J., Skalský R. (2013): Digital soil mapping from conventional field soil observations. *Soil & Water Res.*, 8: 13–25.
- Bellamy, Pat H., Peter J. Loveland, R. Ian Bradley, R. Murray Lark a Guy J. D. Kirk. Carbon losses from all soils across England and Wales 1978–2003. *Nature* [online]. 2005-9-8. Dostupné z: <http://www.nature.com/doi/10.1038/nature04038>
- Boettinger, J.L., Howell, D.W., Moore, A.C., Hartemink, A.E., Kienast-Brown, S. (eds.). 2010. Digital Soil Mapping: Bridging Research, Environmental Application, and Operation. Springer, New York. ISBN 978-90-481-8862-8.
- Brevik, Eric C., Costanza Calzolari, Bradley A. Miller, Paulo Pereira, Cezary Kabala, Andreas Baumgarten a Antonio Jordán. Soil mapping, classification, and pedologic modeling: History and future directions. *Geoderma* [online]. 2016. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016706115001718>
- Bui, E.N., Moran, C.J., 20013. A strategy to fill gaps in soil survey over large spatial extents: an example from the Murray – Darling basin of Australia. *Geoderma* 111, 21-44.
- Collard, F., Kempen, B., Heuvelink, G.B.M., Saby, N.P.A., Richer de Forges, A.C., Lehmann, S., Nehlig, P., Arrouays, D. 2014. Refining a reconnaissance soil map by calibrating regression models with data from the same map (Normandy, France). *Geoderma Regional*. 1. 21–30.
- Čujanová – Jílková, E., 1966. Pravěk Domažlicka. Domažlicko s okolím v pravěku a na počátku dějin. Domažlice. 19.

Dewitte, Olivier, Arwyn Jones, Otto Spaargaren, et al. Harmonisation of the soil map of Africa at the continental scale. *Geoderma* [online]. 2013. Dostupné z:

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016706113002401>

Dudák, V., 2006. Český les, příroda – historie – život. Praha. Baset. 880 s. ISBN: 8073400650

Finke, Peter A. On digital soil assessment with models and the Pedometrics agenda. *Geoderma* [online]. 2012. Dostupné z:

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016706111000024>

Fot, J., Hnilica j., Aplikovaná analýza rizika ve finančním managementu a investičním rozhodování. 2., aktualiz. a rozš. vyd. Praha: Grada, 2014. Expert (Grada). ISBN 9788024751047.

Häring, T., Dietz, E., Osenstetter, S., Koschitzki, T., Schröder, B. 2012. Spatial disaggregation of complex soil map units: A decision-tree based approach in Bavarian forest soils.

Geoderma. 185-186. 37–47.

Hartemink, Alfred E., Pavel Krasilnikov a J.G. Bockheim. Soil maps of the world. *Geoderma* [online]. 2013. Dostupné z:

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016706113001572>

Janderková, J., Sedláček, J., 2004. Dokončení edice půdních map ČR v měřítku 1:50 000. Projekt VaV640/5/01.

Janderková, J., Sedláček, J., 2011. Syntetická digitální mapa půd a půdotvorných substrátů v měřítku 1:50 000 – analýza a metodika.

Jankauskas, Benediktas, Alvyra Slepeliene, Genovaite Jankauskiene, Michael A. Fullen a Colin A. Booth. A comparative study of analytical methodologies to determine the soil organic matter content of Lithuanian Eutric Albeluvisols. *Geoderma* [online]. 2006- Dostupné z:

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S001670610600187X>

Jílek, T., 2010. Kapitoly z historie západních Čech od pravěku dosoučasnosti. Vydavatelství ZČU. 88 s. ISBN: 9788070439104

Johns, Timothy J., Michael J. Angove a Sabine Wilkens. Measuring soil organic carbon: which technique and where to from here? Soil Research [online]. 2015. Dostupné z: <http://www.publish.csiro.au/?paper=SR14339>

Jones, R.J.A., Houšková, B., Bullock, P., Montanarella, L., 2005. European Soil Bureau Research Report No.9. EUR 20559 EN. 420pp. Office for Official Publications of the European Communities. Luxembourg.

Kerry, R., Goovaerts, P., Rawlins, B.G., Marchant, B.P. 2012. Disaggregation of legacy soil data using area to point kriging for mapping soil organic carbon at the regional scale. Geoderma. 170. 347–358.

Kozák, J., a kol 2009. Atlas půd české republiky. MZe ČR ve spolupráci s ČZU. Praha. 149 S. ISBN 9788021318823

Lagacherie, P., McBratney, A.B., Voltz, M. (eds.). 2006. Digital Soil Mapping: An Introductory Perspective. Elsevier, Amsterdam. ISBN 978-0-444-52958-9.

McBratney, A.B., Mendonca Santos, M.L., Minasny, B. 2003. On digital soil mapping. Geoderma. 117. 3-52. Dostupné z: <http://hotsites.cnps.embrapa.br/blogs/emdia/wp-content/uploads/2010/04/Ondigitalsoilmapping.pdf>

Miller, B.A. a R.J. Schaetzl. The historical role of base maps in soil geography. Geoderma [online]. 2014. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016706114001773>

Minasny, B., McBratney, A.B. 2015. Digital soil mapping: A brief history and some lessons. Geoderma. 264. 301–311.

Mištera, L., 1997. Geografie regionů České republiky. Plzeň. Vydavatelství Západočeské univerzity. 166 s. ISBN 8070823348.

Nauman, T.W., Thompson, J.A. 2014. Semi-automated disaggregation of conventional soil maps using knowledge driven data mining and classification trees. Geoderma. 213. 385–399.

Nauman, T.W., Thompson, J.A., Odgers, N.P., Libohova, Z., 2012. Fuzzy disaggregation of conventional soil maps using database knowledge extraction to produce soil property maps,

in: Digital Soil Assessments and Beyond - Proceedings of the Fifth Global Workshop on Digital Soil Mapping. pp. 203–207.

Němeček, J., Damaška, J., Hraško, J., Bedrna, Z., Zuska, V., Tomášek, M., Kalenda, M., 1967. Průzkum zemědělských půd ČSSR. 1. díl: Metodika terénního průzkumu. Min. Zem. a výž., Praha.

Němeček, J., Rohošková, M., Macků, J., Vokoun, J., Vavříček, D., Novák, P., 2001. Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. ČZU a VÚMOP. Praha. 79 s. ISBN: 8023880616

Němeček, J., Kutílek, M., Smolíková, L., 1990. Pedologie a paleopedologie. Academia, Praha. 546 s. ISBN: 8020001530.

Novák, Mirko. Umělé neuronové sítě. Teorie a aplikace. Praha: C.H. Beck, 1998. ISBN 80-7179-132-6.

Odgers, N.P., Sun, W., McBratney, A.B., Minasny, B., Clifford, D. 2014. Disaggregating and harmonising soil map units through resampled classification trees. Geoderma. 214-215. 91–100.

Pásztor, L., J. Szabó a Z. Bakacsi. Digital processing and upgrading of legacy data collected during the 1: 25 000 scale Kreybig soil survey. Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica [online]. 2010. Dostupné z: <http://www.akademiai.com/doi/abs/10.1556/AGeod.45.2010.1.18>

Penížek, V. 2016. Využití dat tradičního půdního průzkumu (legacy dat) metodami digitálního mapování půd. Habilitační práce. Česká zemědělská univerzita, Praha.

Penížek, V., Rohošková, M., 2004a. Variabilita vybraných půdních vlastností antropozemí výsypky Pokrok, in: Pedologické Dny 2004. Sborník Z Konference Na Téma Pedodiverzita.

Smith, Pete, Stephen J. Chapman, W. Andy Scott, et al. Climate change cannot be entirely responsible for soil carbon loss observed in England and Wales, 1978–2003. Global Change Biology [online]. 2007. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2486.2007.01458.x>

Sorokina, N.P., 2005. Principles of typification of soil combinations upon studying agrogenic changes in the soil cover. *Eurasian Soil Sci.* 38, 1317–1328.

Spirhanzl, J., 1933. Půdy okresu Český Brod, Sborník vý. ed. Zemský úřad v Čechách při České akademii, Praha. 169 s.

Świtoniak, Marcin. Use of soil profile truncation to estimate influence of accelerated erosion on soil cover transformation in young morainic landscapes, North-Eastern Poland. *Catena* [online]. 2014. Dostupné z:

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0341816214000034>

Tomášek, M., 2007. Půdy České republiky. Česká geologická služba. Praha. 67 s. ISBN: 9788070756881

Várallyay, György. Soil resilience (is soil a renewable natural resource). *Cereal Research Communications* [online]. 2007. Dostupné z:

<http://www.akademiai.com/doi/abs/10.1556/CRC.35.2007.2.278>

www.geoportal.gov.cz/web/guest/home

www.cuzk.cz/Periodika-a-publikace/Statisticke-udaje/Souhrne-prehledy-pudniho-fondu/Rocenska_pudniho_fondu_2016.aspx

Wysocki, Douglas A., P.J. Schoeneberger a H.E. Lagarry. Soil surveys: a window to the subsurface. *Geoderma* [online]. 2005. Dostupné z:

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016706104002988>

Zádorová, T., Penížek, V., Šefrna, L., Rohošková, M., Borůvka, L.,. Spatial delineation of organic carbon-rich Colluvial soils in Chernozem regions by Terrain analysis and fuzzy classification. *CATENA* [online]. 2011. Dostupné z:

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0341816210001761>

9 Seznam obrázků a tabulek

9.1 Seznam grafů

Graf 1 – Podíl půdních typů v okrese Domažlice	21
Graf 2 – Nadmořská výška výskytu půdních typů v okrese Domažlice (m)	22
Graf 3 – Podíl ploch dle využití	23
Graf 4 – Komplexní orientace ke světovým stranám.....	24
Graf 5 – Kryptopodzol – orientace ke světovým stranám	25
Graf 6 – Glej – orientace ke světovým stranám	26
Graf 7 – Fluvizem – orientace ke světovým stranám	27
Graf 8 – Luvizem – orientace ke světovým stranám.....	28
Graf 9 – Hnědozem – orientace ke světovým stranám	29
Graf 10 - Celkový podíl půdotvorných substrátů, okres Domažlice	30
Graf 11 – Kambizem - počet výskytů půdotvorných substrátů	31
Graf 12 – Glej - počet výskytů půdotvorných substrátů.....	32
Graf 13 – Hnědozem - počet výskytů půdotvorných substrátů.....	32
Graf 14 – Pseudoglej - histogram svažitosti (stupně)	33
Graf 15 – Kambizem - histogram svažitosti (stupně).....	34
Graf 16 – Hnědozem - histogram svažitosti (stupně)	35
Graf 17 – Glej - histogram svažitosti (stupně)	36
Graf 18 – Fluvizem - histogram svažitosti (stupně)	37

9.2 Seznam obrázků

Mapa 1 - Půdní mapa v systému SOTER (SOil and TErrain - 1:250 000).....	38
Mapa 2 - Půdní mapa 1:250 000 podle Atlasu půd ČR (Kozák et al., 2009)	38
Mapa 3 - Půdní mapa 1:250 000 na Národním geoportálu INSPIRE, klasifikace dle TKSP	39
Mapa 4 - Rozložení ploch podle účelu dle databáze CORINE, 1:250 000.....	40
Mapa 5 - Typologie České krajiny podle využití podle MŽP	40
Mapa 6 – Neúplnost digitalizace půdní mapy – pokrytí zájmového území digitalizovanou půdní mapou ČGS v měřítku 1:50 000	41
Mapa 7 - Půdní mapa vytvořená v programu ArcGIS pomocí modelu umělých neuronových sítí, rastrová (100x100 m)	43
Mapa 8 - Půdní mapa vytvořená v programu ArcGIS pomocí modelu rozhodovacích stromů, rastrová (100x100 m).....	44
Mapa 9 - Půdní mapa v systému SOTER (SOil and TErrain - 1:250 000), polygonová	44

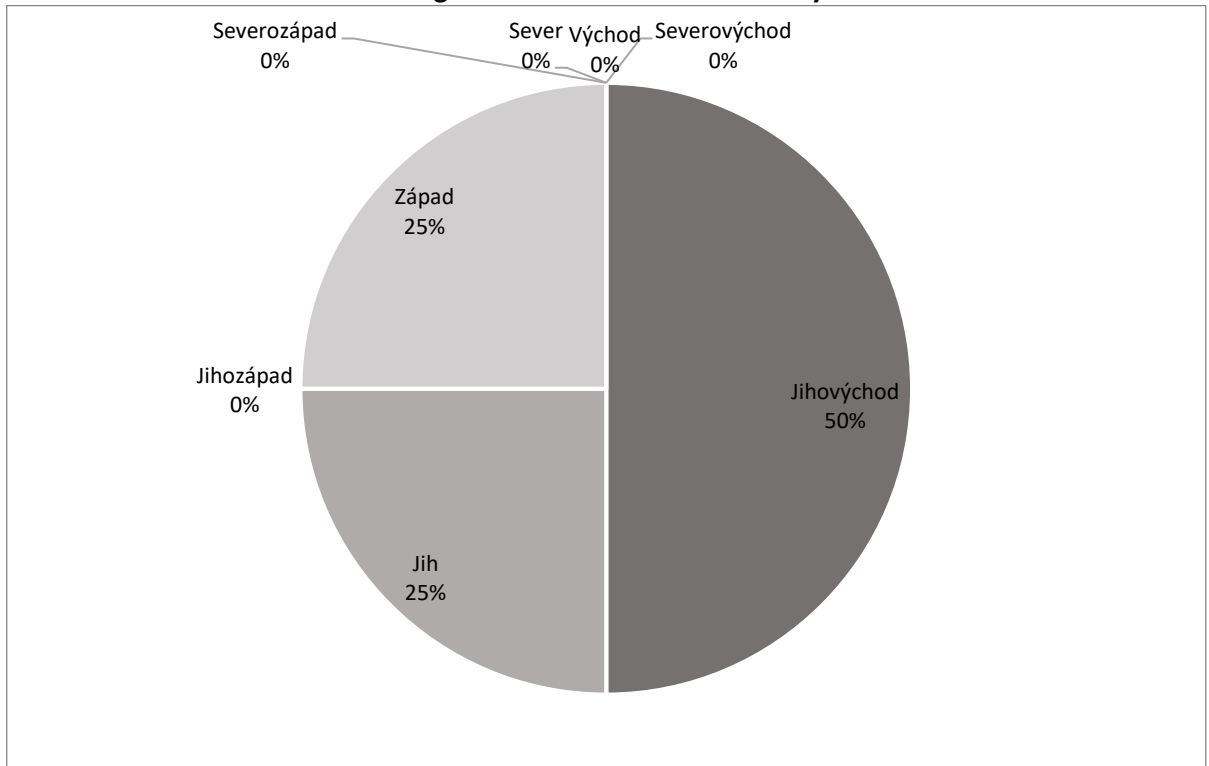
9.3 Seznam příloh

Příloha 1 – Organozem – orientace ke světovým stranám.....	58
Příloha 2 – Kambizem – orientace ke světovým stranám	58
Příloha 3 – Pseudoglej – orientace ke světovým stranám.....	59
Příloha 4 – Fluvizem - půdotvorný substrát.....	59
Příloha 5 – Luvizem - půdotvorný substrát.....	60

Příloha 6 – Pseudoglej - půdotvorný substrát	60
Příloha 7 – Kryptopodzol - půdotvorný substrát	60
Příloha 8 – Organozem - půdotvorný substrát	61
Příloha 9 – Organozem - histogram svažitosti (stupně).....	61
Příloha 10 – Luvizem - histogram svažitosti (stupně)	61
Příloha 11 – Kryptopodzol - histogram svažitosti (stupně).....	62

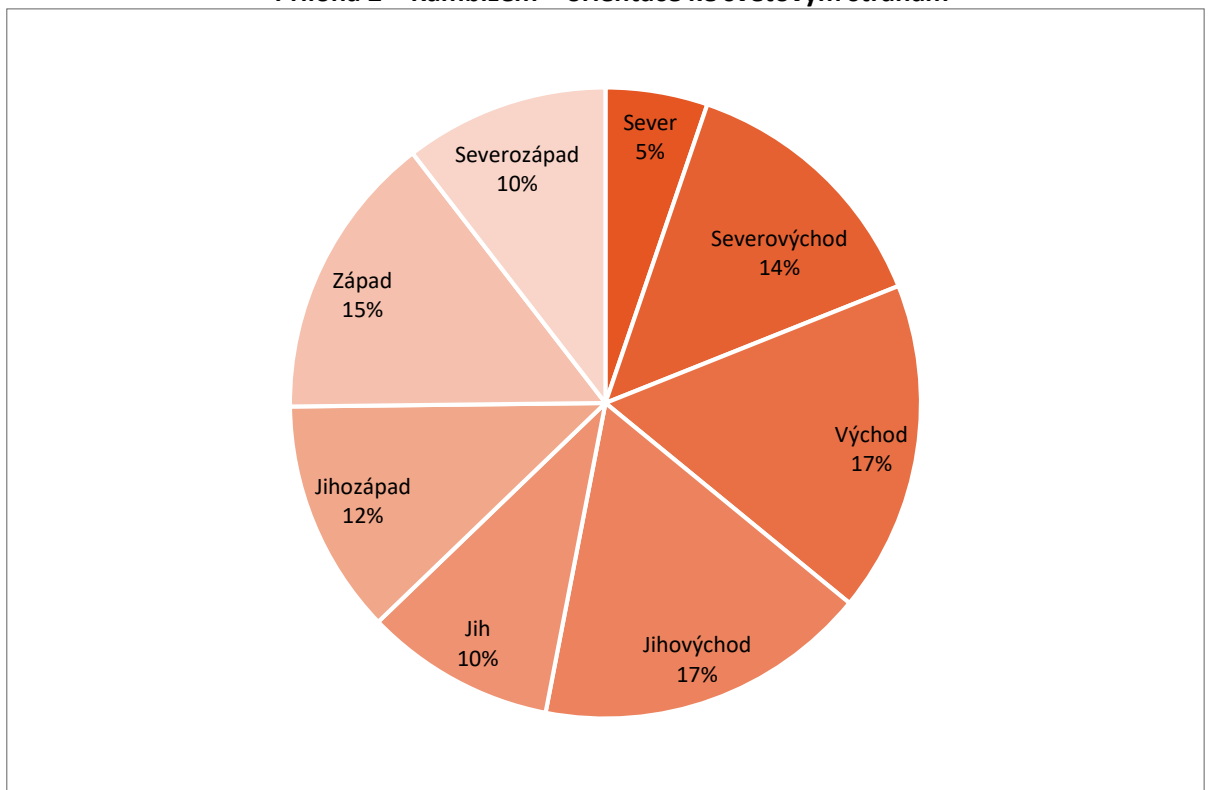
10 Přílohy

Příloha 1 – Organozem – orientace ke světovým stranám



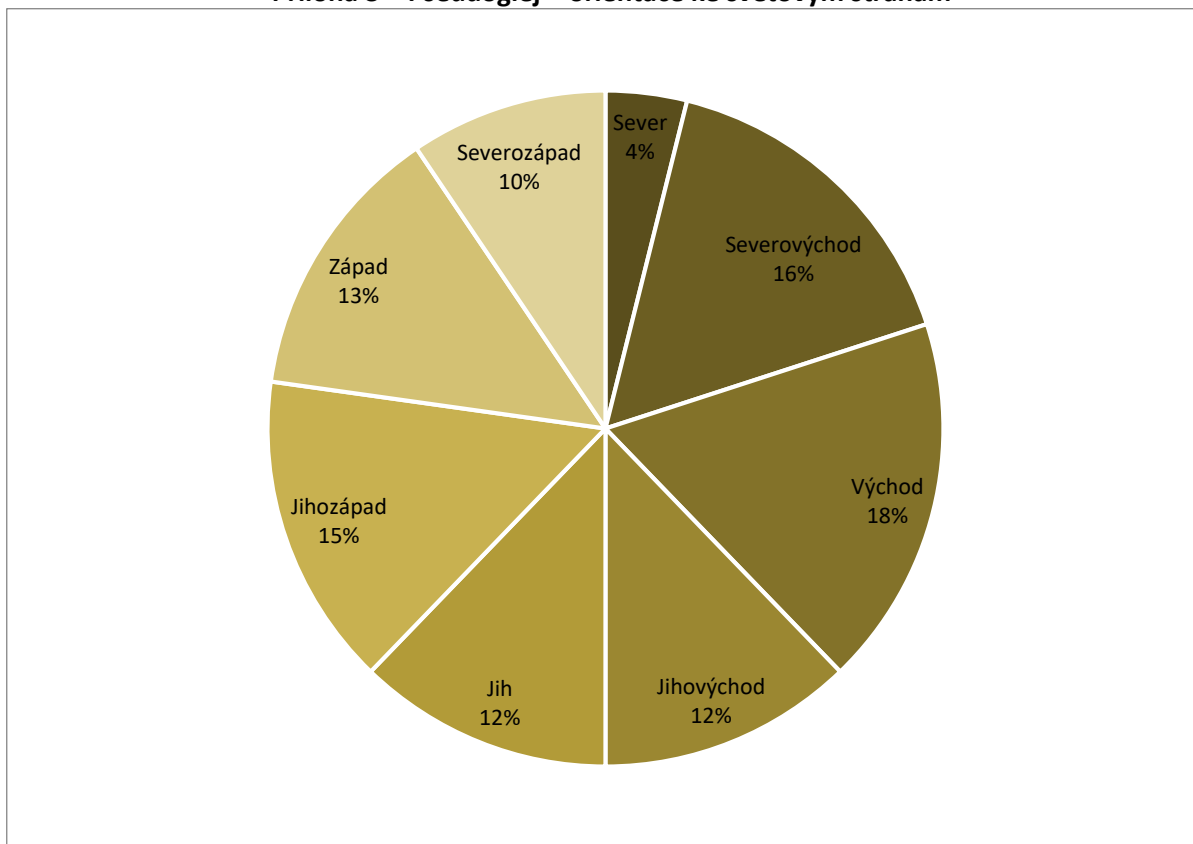
Zdroj: SRTM, vlastní zpracování

Příloha 2 – Kambizem – orientace ke světovým stranám



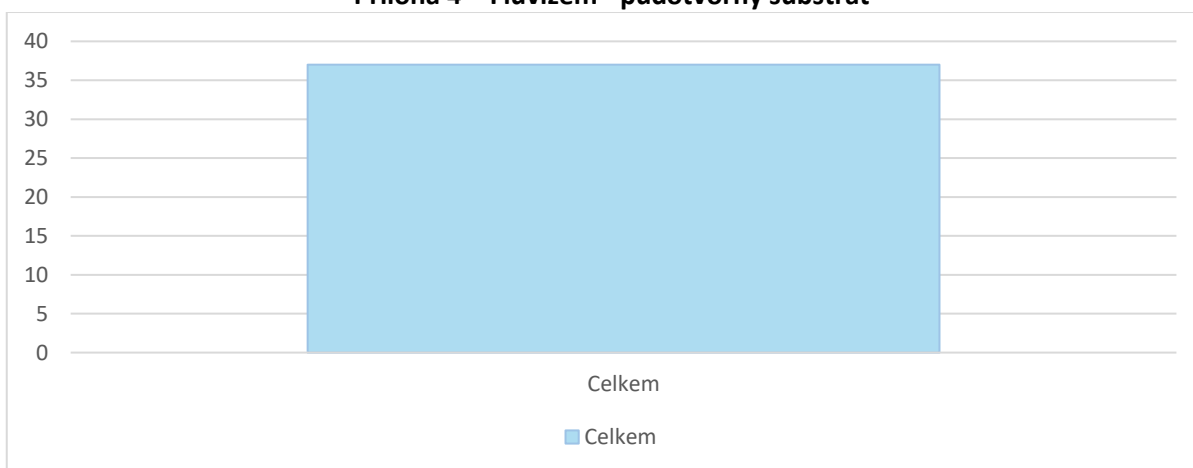
Zdroj: SRTM, vlastní zpracování

Příloha 3 – Pseudoglej – orientace ke světovým stranám



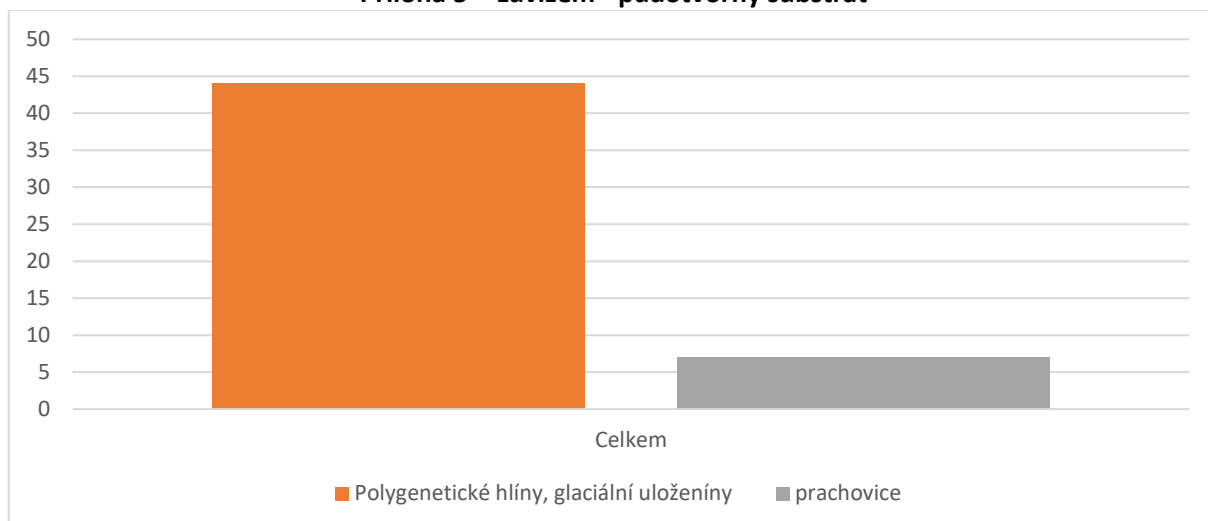
Zdroj: SRTM, vlastní zpracování

Příloha 4 – Fluvizem - půdotvorný substrát



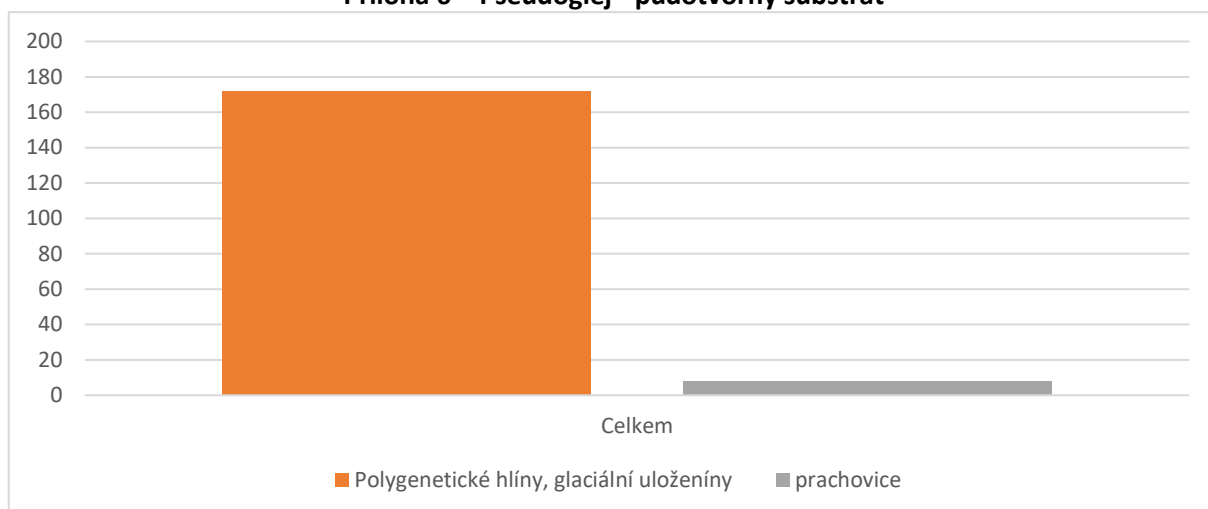
Zdroj: PUGIS, vlastní zpracování

Příloha 5 – Luvizem - půdotvorný substrát



Zdroj: PUGIS, vlastní zpracování

Příloha 6 – Pseudoglej - půdotvorný substrát



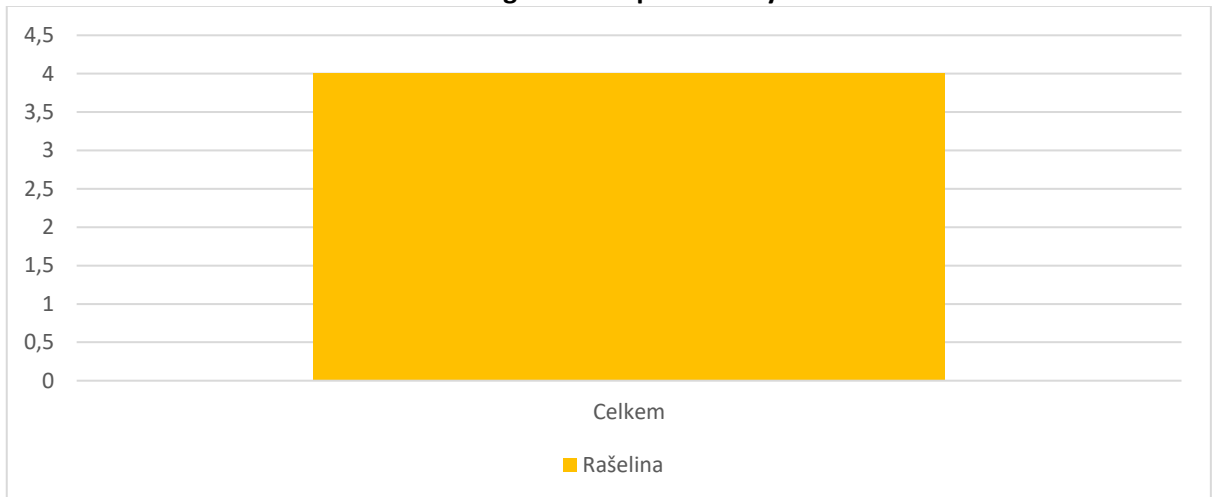
Zdroj: PUGIS, vlastní zpracování

Příloha 7 – Kryptopodzol - půdotvorný substrát



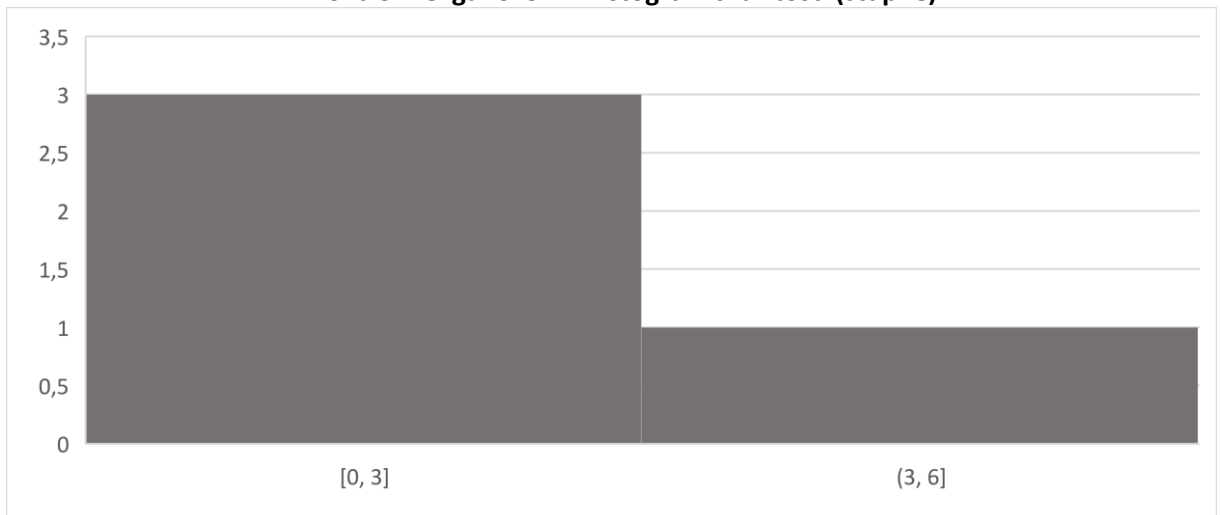
Zdroj: PUGIS, vlastní zpracování

Příloha 8 – Organozem - půdotvorný substrát



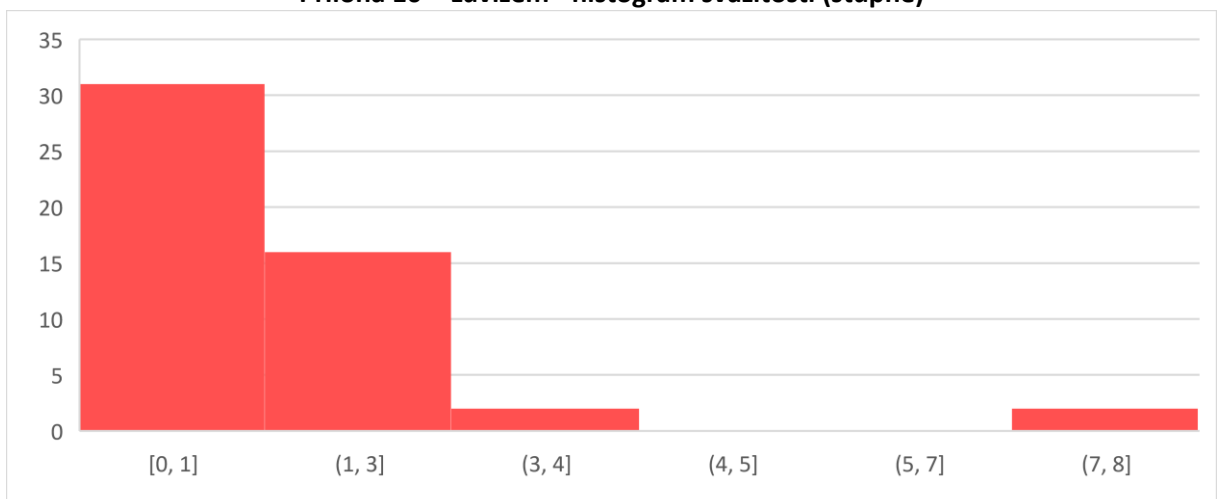
Zdroj: PUGIS, vlastní zpracování

Příloha 9 – Organozem - histogram svažitosti (stupně)



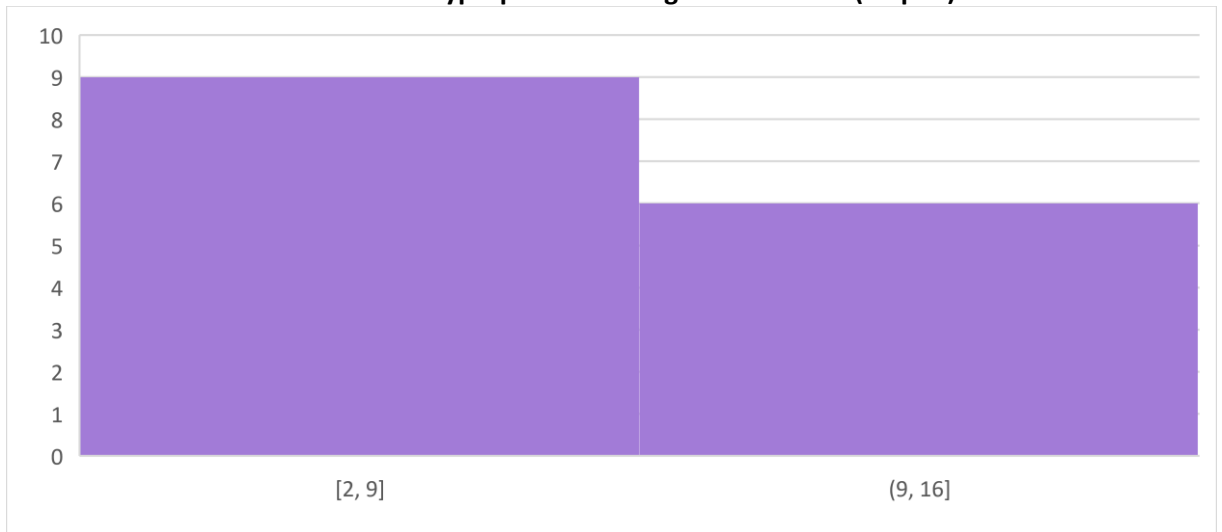
Zdroj: PUGIS, vlastní zpracování

Příloha 10 – Luvizem - histogram svažitosti (stupně)



Zdroj: PUGIS, vlastní zpracování

Příloha 11 – Kryptopodzol - histogram svažitosti (stupně)



Zdroj: PUGIS, vlastní zpracování