

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra pedologie a ochrany půd**



**Popis dynamiky vodní eroze pomocí vyhodnocení časové  
série leteckých snímků**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Ondřej Borufka**

**Vedoucí práce: Ing. Vít Penížek, Ph.D.**

© 2015 ČZU v Praze

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Popis dynamiky vodní eroze pomocí vyhodnocení časové série leteckých snímků" jsem vypracoval 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 autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 10.4.2015

---

### **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Vítu Penížkovi, Ph.D. za jeho pomoc při vypracování práce, všem členům rodiny, dále také Českému úřadu zeměměřičskému a katastrálnímu a Vojenskému geografickému a hydrometeorologickému úřadu Dobruška za poskytnutí leteckých snímků sledovaných území.

# Popis dynamiky vodní eroze pomocí vyhodnocení časové série leteckých snímků

---

## Assessment of soil erosion dynamics by aerial photographs time series

### Souhrn

Cílem diplomové práce s názvem „Popis dynamiky vodní eroze pomocí vyhodnocení časové série leteckých snímků“ je popsat vývoj eroze v čase s použitím série leteckých snímků na základě hypotézy, že existuje vztah mezi barvou půdy a obsahem organických látek. Vlastní práce je rozdělena na více částí. Teoretická část se zabývá popisem problematiky eroze, včetně různých typů eroze. Dále je v práci popsána možnost sledování projevů eroze pomocí dálkového průzkumu Země, především založeného na leteckém snímkování. S ohledem na zaměření práce je také popsána problematika historie a současnosti leteckého snímkování na území dnešní České republiky.

Praktická část práce popisuje identifikaci erozně postižených míst ve dvou zájmových územích na jižní Moravě a Severních Čechách. Vlastní metodika zahrnuje dva základní kroky, kdy je proveden výběr zemědělských pozemků s viditelnými projevy eroze v časových odstupech v obou širších územích. Vybrané pozemky jsou podrobněji analyzovány pomocí série historických a současných leteckých snímků

Výsledky práce ukazují, že je možné sledovat vývoj eroze projevující se změnami barvy povrchu půdy v čase na základě hodnocení leteckých snímků. Analýza prokázala, že existuje matematicky popsatelný vztah mezi obsahem organických látek v půdě a barvou půdy, reprezentovanou střední hodnotou RGB. Erozní jevy je možné relativně dobře identifikovat a pomocí kvantitativní analýzy současného i historického stavu půdního pokryvu, třebaže starší letecké snímky nemají tak vysokou kvalitu. Na obou lokalitách byl prokázán výrazný postup eroze v daném sledovaném období. Na lokalitě jižní Morava se zvýšila plocha zcela o 1,7 % za 24 let, na lokalitě Severní Čechy o 5,1 % za 24 let.

**Klíčová slova:** eroze, dálkový průzkum Země, historické letecké snímky, rychlost degradace půd

## **Summary**

Aim of the master thesis „Assessment of soil erosion dynamics by aerial photographs time series“ is to describe the erosion dynamics by assessment of time serie of aerial photographs. The aim is basen on hypotheses, that exists a relationship between soil colour and soil organic matter content. The thesis is structured into several parts. The theoretical part describes soil erosion, tools for soil erosion monitoring by aerial photographs and remote sensing and development of the aerial photography in the Czech Republic.

Practical part of the thesis consists of analysis for identification of eroded areas increase in two study areas in North Bohemia (NB) and South Moravia (SM). The analysis was proceeded in two steps. First, analysis of erosion features visibility in wider area was performed. Second, erosion dynamics over given time period was studied on chosen plots by comparing historical and recent aerial photographs with bare surface.

Obtained results proved that the aerial photograph time series is suitable for erosion dynamics assessment. The quantitative colour changes analysis of aerial images at given time period together with mathematically described relationship between the soil organic matter content and soil colour model (RGB) enabled description of soil degradation. Such result was obtained despite the lower quality of historical images.

At both localities, increased degradation was found. The most eroded area increased from 2,1% to 3,8 % at SM plot and from 5,8% to 10,9 % at NB plot.

**Keywords:** erosion, remote sensing, historical aerial photographs, degradation dynamics

# Obsah

<b>1 Úvod</b> .....	<b>8</b>
<b>2 Cíle práce</b> .....	<b>9</b>
<b>3 Literární rešerše</b> .....	<b>10</b>
<b>3.1 Eroze</b> .....	<b>10</b>
3.1.1 Vodní eroze .....	10
3.1.2 Větrná eroze .....	11
3.1.3 Eroze orbou.....	12
3.1.4 Monitoring eroze zemědělské půdy na území České republiky .....	13
<b>3.2 Sledování projevů eroze pomocí leteckých snímků</b> .....	<b>14</b>
3.2.1 Sledování změn tvarů povrchu .....	14
3.2.2 Sledování barevných změn povrchu půdy .....	15
<b>3.3 Letecké snímkování v České republice</b> .....	<b>19</b>
3.3.1 Historie.....	19
3.3.2 Současnost .....	20
3.3.3 Instituce poskytující letecké snímky .....	21
<b>4 Metody</b> .....	<b>23</b>
<b>4.1 Charakteristika širších sledovaných území</b> .....	<b>23</b>
4.1.1 Zájmové území Lounsko.....	23
4.1.2 Zájmové území jižní Morava .....	26
<b>4.2 Kompletace časové série leteckých snímků</b> .....	<b>29</b>
4.2.1 Analýza leteckých snímků .....	29
4.2.2 Vlastní hodnocení stavu eroze.....	32
<b>4.3 Posouzení ztráty půdní organické hmoty</b> .....	<b>33</b>
4.3.1 Odběr půdních vzorků .....	33
4.3.2 Laboratorní měření množství humusu v půdě .....	35
<b>5 Výsledky</b> .....	<b>36</b>
<b>5.1 Výběr vhodných leteckých snímků</b> .....	<b>36</b>
5.1.1 Vytvoření časové série pro vyhodnocení vhodných půdních bloků .....	37
5.1.2 Výběr půdních bloků pro vlastní hodnocení erozních změn .....	44
5.1.3 Vyhodnocení vztahu barvy půdy a míry eroze / obsahu organických látek.....	46
5.1.4 Změna erozních projevů v čase (klasifikace leteckých snímků).....	52
<b>6 Diskuse</b> .....	<b>61</b>
<b>7 Závěr</b> .....	<b>64</b>
<b>8 Seznam literatury</b> .....	<b>65</b>
<b>9 Internetové mapy</b> .....	<b>68</b>

<b>10 Seznam použitých zkratk</b> .....	<b>69</b>
<b>11 Seznam obrázků</b> .....	<b>70</b>
<b>12 Seznam tabulek a grafů</b> .....	<b>73</b>
<b>13 Samostatné přílohy</b> .....	<b>75</b>

# 1 Úvod

Zemědělská půda je jedním z nejcennějších neobnovitelných přírodních zdrojů každého státu. Jedná se o významnou složku životního prostředí, která má široký rozsah funkcí. Jednou z nejvýznamnějších funkcí půdy je funkce produkční. Využití půdy pro zemědělství zajišťuje produkci naprosté většiny potravin. V posledních desetiletích dochází ke značné intenzifikaci zemědělství, což klade na půdu stále vyšší nároky. Bohužel se s těmito nároky zvyšuje i intenzita procesů degradace půdy, a to z důvodu nevhodných agrotechnických opatření. Jedním z nejvýznamnějších procesů degradace půdy je eroze, která může mít devastující účinky, jak na zemědělskou produkci, tak i na chod ekosystémů. V podmínkách České republiky je erozí ohrožena velká část půdního pokryvu. Nárůst erozního ohrožení v posledních několika dekádách úzce souvisí se změnou uspořádání zemědělské krajiny danou kolektivizací zemědělství v 50. letech 20. století.

Výzkumu eroze je věnována velká pozornost. Jedná se především o vývoj modelů popisující její potenciaální vývoj. V daleko širší míře je ale popisován skutečný stav změn půdního pokryvu daný skutečnou erozí. Stejně tak zůstává nepopsána skutečná rychlost degradace půd.

Ve své práci „Dynamika vodní eroze pomocí vyhodnocení časové série leteckých snímků“ se zaměřuji na sledování změn erozních jevů za vybrané časové období. Erozní jevy se projevují smyvem humusových horizontů a v extrémních případech až expozicí substrátu na povrchu pozemků. To se projevuje barevnými změnami. Práce si klade za cíl popsat změnu rozsahu takových barevných změn v čase na základě analýzy série historických a současných leteckých snímků. Vycházím z předpokladu, že období od konce 30. let minulého století po současnost, pro které existují dostupné letecké snímky, je dostatečně dlouhé, aby tyto změny bylo možné zachytit.

Práce vychází z hypotézy, že existuje matematicky popsatelná závislost mezi obsahem humusu v půdě a barvou půdy. Na základě tohoto vztahu je možné popsat míru degradace půd.



## 2 Cíle práce

Cíle diplomové práce jsou:

- Stanovení závislosti obsahu organických látek v půdě na barvě půdy.
- Zhodnocení rychlosti vodní eroze ve vybrané oblasti pomocí vytvoření časové série historických i současných leteckých snímků a následné analýzy v prostředí počítačových programů.

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Eroze

Eroze je proces, který způsobuje degradaci půd působením povětrnostních podmínek (srážky, vzdušné proudění, atd.), antropogenních vlivů nebo gravitace. Tento proces může způsobovat rozsáhlé ekologické škody v půdním pokryvu. Půdní eroze má negativní vliv na kvalitu zemědělské půdy, vodní plochy, narušování ekosystémů, vegetaci a další aspekty krajiny (Vrieling, 2006). Jak už bylo zmíněno, erozi vytváří srážky, vzdušné proudění - vítr nebo orba. Proto se rozděluje na erozi vodní, větrnou (Kutílek, 2012) a erozi orbou (Vopravil et al., 2013). Hníková (2015) ve svém článku uvádí, že eroze podpořená špatným hospodařením, může v České republice vytvářet škody až ve výši 10 miliard korun ročně.

#### 3.1.1 Vodní eroze

Vodní eroze ohrožuje podle Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půd víc než polovinu zemědělských ploch na území České republiky (VÚMOP, 2014a), odhadem asi 1,4 milionu hektarů (Vácha a Borůvka, 2009). Vzniká především při přívalových deštích a při tání sněhové pokrývky. V případě, že se voda nestačí vsakovat, zůstává na povrchu půdy a odtéká po svahu. Vodní kapky, dopadající na povrch půdy vymršťují uvolněné půdní částice, tím se vytvoří malé krátery na povrchu půdy a dochází k jeho narušení. Jak kapky narážejí do Země, zakalují tekoucí vodu a ucpávají povrchové půdní póry. Tento proces snižuje infiltraci vody a zvyšuje povrchový odtok, čímž dochází k většímu transportu půdních částic, tedy vodní erozi. Rostoucí síla deště zvyšuje velikost vodních kapek a účinnost přenosu částic. Záleží i na kvalitě půdní struktury, čím jsou půdní agregáty pevnější, tím je transport půdních částic menší (Kutílek, 2012).

Rozlišujeme 4 druhy vodní eroze: plošná, rýhová, výmolová a proudová (Vácha a Borůvka, 2009).

Počátek plošné vodní eroze je způsobován zmenšováním mocnosti povrchového A horizontu půd s nejvyšším obsahem organických látek v prostoru i mírného svahu. V některých případech se projevuje odplavením jílových a prachových půdních částic, hrubší písčité částice zůstávají na místě. Jemné částice se poté usazují na patě svahu (Kutílek, 2012).

Rýhová eroze vzniká při proměně povrchového odtoku, kdy vodu usměrňují drobné nerovnosti do silnějších proudů. Po skončení deště jsou na svahu viditelné drobné rýhy, které

se ve směru svahu spojují, zvyšuje se rychlost proudění vody a rýhy se prohlubují. Tím se zvyšuje i účinnost transportu půdních částic (Kutílek, 2012). Vyšší stupeň rýhové eroze se označuje jako eroze výmolová, která se v extrémních případech může změnit na erozi stržovou, která má devastující účinky (Krása, 2010). Příklad následků stržové eroze v Afghánistánu je zobrazen na Obrázku 1.



**Obrázek 1. Stržová eroze v Afghánistánu. Zdroj: diplomant.**

Podle studií americké agentury pro zemědělský výzkum ARS (Agricultural Research Service) významně ovlivňuje vznik výmolové eroze orba. Tým vědeckých pracovníků ARS vytvořil model, jehož cílem bylo vyhodnocení vlivu orby na výskyt výmolové eroze. Po vytvoření modelu a porovnání lokalit, kde se praktikují bezeorbé technologie zpracování půdy a běžná orba, vědci zjistili, že na klasicky obdělávané půdě (orba) je výskyt rýhové eroze o 240 - 460 % vyšší (Vondrášková, 2008). Proudová eroze probíhá působením proudu vody v tocích (Krása, 2010).

### 3.1.2 Větrná eroze

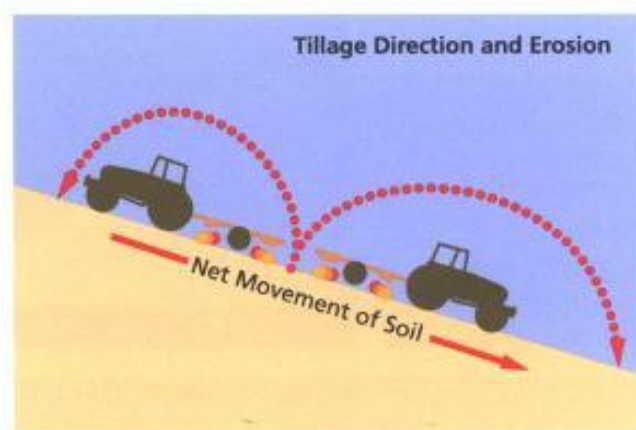
Větrná eroze potenciálně ohrožuje kolem 7,5 % zemědělské půdy v České republice, zejména se vyskytuje v sušších a teplejších regionech, například v Polabí nebo na jižní Moravě (Vácha a Borůvka, 2009). Šarapatka v rozhovoru pro časopis Ekonom (Hníková, 2015) uvádí, že větrná eroze ohrožuje až 1 / 6 polí v ČR. Větrnou erozi způsobuje vzdušné proudění, ale aby mohl vítr unášet prachové částice, musí být narušena kompaktnost půdy (Kutílek, 2012). Tím dochází, k rozrušování půdního povrchu a uvolňování půdních částic,

kteře jsou přenášeny na různou vzdálenost, kde se po snížení síly větru opět ukládají. Tyto pohyby přenášených částic mohou probíhat ve třech formách: 1) transport nejmenších půdních částic ve formě suspenze, která jsou přemísťována na velké vzdálenosti. Při extrémních silách větru může docházet i k prašným bouřím. 2) pohyb půdních částic skokem, kdy dochází k přemísťování největšího množství půdního materiálu. 3) sunutí půdních částic po povrchu, kde dochází k přenosu větších a těžších fragmentů půdní hmoty po svahu dolů (Janeček et al., 2007).

Procesy činnosti větru se dají rozdělit do dvou skupin – na korazi, kdy dochází k obřušování hornin unášených prachovými či písčítými zrnny, které naráží do skály nebo deflaci, což je větrný odnos sypkého materiálu z povrchu. Oba procesy závisí na síle větru a na množství či hrubosti unášeného materiálu (Kutílek, 2012).

### 3.1.3 Eroze orbou

I když byla vytvořena řada studií ke stanovení pohybu sedimentů způsobené vodní nebo větrnou erozí, eroze orbou byla dosud poněkud přehlížena (Van Oost, et al., 2009). Princip tohoto způsobu eroze spočívá v orání pozemku ve stále stejném směru a obracením půdy stejným směrem. Každým opakovaním orání tedy dochází k posouvání objemu půdy asi o 30 cm ve směru obracení. Z dlouhodobého hlediska tak dochází podle studií ze zahraničí k přemísťování velkých objemů půdy (Vopravil et al., 2013). Řada experimentů a modelových studií potvrdila, že eroze způsobená orbou, může mít stejné důsledky degradace půdy jako eroze vodní nebo větrná (Van Oost, et al., 2009). (Vopravil et al., 2013) ve své práci uvádí příklady zahraničních studií, kdy Govers a Owens (2006) zjistili, že na sledovaných územích v Belgii, Francii a Anglii dosáhly průměrné roční ztráty půdy prostřednictvím eroze orbou 3 t / ha za rok. Boardman a Poesen (2006) prováděli svoje studie v různých zemích Evropy a dospěli k hodnotám překračujícím i 10 t / ha za rok. (Van Oost et al., 2005) odhaduje ztráty půdy díky jejímu přemísťování orbou za posledních 35 – 40 let na 9t/h za rok. Stejným způsobem v České republice vznikaly například typické meze v zemědělské krajině, které označovaly hranice pozemků a tvořily osu udávající směr orby. Tím vznikl výškový rozdíl přesahující i 2 metry (Vopravil et al., 20013). Posun půdy, který vzniká orbou je znázorněn na Obrázku 2.



Obrázek 2. Posun půdy způsobený orbou. Zdroj: Provincence of Manitoba, 2015.

### 3.1.4 Monitoring eroze zemědělské půdy na území České republiky

Hlavní cíle monitoringu eroze jsou zjišťování, evidence a správa dat o výskytu erozních ploch a svahových deformací na zemědělské půdě. Tyto informace vyhodnocuje Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy (VÚMOP) z důvodu zjištění příčin vzniku monitorovaných událostí a pro návrhy preventivních opatření na zmírnění nebo odstranění negativních vlivů těchto událostí. Monitoring eroze tedy sleduje procesy a vlivy vodní i větrné eroze a také stékání (VÚMOP, 2014a).

Nástrojem pro správu a evidenci informací o monitorovaných událostech je webový portál <http://me.vumop.cz/> nazvaný „Monitoring eroze zemědělské půdy“ spuštěný v roce 2012, který umožňuje zaměstnancům Státního pozemkového úřadu poskytovat informace o sledovaných událostech. Rovněž slouží jako zdroj informací pro analýzy a pro návrhy opatření na zmírnění nebo odstranění negativních následků monitorovaných událostí. Aplikace obsahuje, jak textovou, tak mapovou část. V textové části jsou obecné informace o monitoringu eroze zemědělské půdy nebo podrobné informace o jednotlivých událostech. Obě tyto části jsou propojeny a informace z databáze jsou zobrazovány pomocí interaktivní mapy a různých tabulkových přehledů (VÚMOP, 2014a).

Hlavním účelem vzniku tohoto portálu je snaha o zvýšení ochrany zemědělské půdy před degradací vlivem erozních jevů (VÚMOP, 2014b).

Studiemi zabývajícími se problematikou eroze půdy a jejím současným stavem se zabývá ve spolupráci s VÚMOP i Ministerstvo zemědělství v rámci Programu rozvoje venkova. V roce 2013 byl například vytvořen projekt pro hodnocení současného stavu eroze v Ústeckém a Jihomoravském kraji (Vopravil et al., 2013).

## 3.2 Sledování projevů eroze pomocí leteckých snímků

Sledování projevů eroze pomocí dálkového průzkumu Země, respektive leteckých snímků, je možné dvěma základními přístupy. Jedním z nich je analýza změny tvaru povrchu. Druhým možným přístupem hodnocení postupu eroze je sledování barevných změn povrchu půdy, které jsou dány úbytkem tmavšího humusového horizontu a odkrytím světlejších spodních horizontů půdy.

Rozvoj počítačů a geografických informačních systémů (GIS) využití leteckých snímků značně rozšířil. Nyní je možné provádět daleko přesnější a podrobnější zkoumání dat za pomoci nástrojů různých počítačových programů (Šarapatka a Netopil, 2009).

### 3.2.1 Sledování změn tvarů povrchu

Pro popis eroze půdy je vhodnější použití leteckých snímků, protože snímky satelitní mají horší rozlišení. Rozlišení a kvalita snímku jsou důležité, protože erozní znaky obvykle nemají velký plošný rozsah (Vrieling, 2006). Satelitní snímky, ale mohou sloužit k identifikaci erozně zasažených oblastí, bližší sledování poté probíhá pomocí hodnocení detailnějších leteckých snímků (Marzloff et Poesen, 2009). Důležitá je i dostupnost časové řady pořízených snímků, aby mohlo být provedeno porovnání současných terénních částí a jejich stav v minulosti. Betts a DeRose (1999) ve své studii o vývoji erozních strží na Novém Zélandu, využili série leteckých snímků v časovém rozmezí od 14 do 32 let. Podobně byly využity letecké snímky v rozmezí 31 let pro sledování vývoje erozních strží v zájmovém území Etiopie, kde byl zároveň porovnáván vliv rozlišení fotografií na přesnost dat (Daba et al., 2003). Sledování vývoje strží se týká především oblastí, které jsou jen slabě zemědělsky využívány nebo míst, kde se mohou vytvořit erozní strže velmi rychle. Jedná se především o oblasti s omezenou vegetací. V Evropě se takové oblasti vyskytují především ve Středomoří (Aber et al., 2010), často je tato problematika studována například ve Španělsku (Martinez, 2003). V našich podmínkách je výskyt a vývoj strží spíše ojedinělý. Eroze se v České republice neprojevuje tak výraznými znaky, ale jde spíše o pomalejší proces. V případě, že dochází k vývoji erozních rýh, jsou tyto rýhy obvykle zahlazeny při zpracování půdy orbou a jejich rozsah je jak velikostně, tak i časově omezený. I v tomto případě dochází k přesunu značného množství půdního materiálu vedoucího ke snížení a naopak zvýšení některých částí reliéfu (Zádorová et al., 2011). Tento proces je ale spíše plíživý, a přestože dochází k výškovým změnám v měřítku decimetrů a metrů, je pozorovatelný spíše přes změny povrchu půdy, než rozsáhlé terénní změny.

Jako zdroj hodnocení změn tvaru povrchu je možné využít i postupně vznikající tzv. Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G) s úplnou střední chybou výšky 0,18 m v odkrytém terénu a 0,3 m v zalesněném terénu. Tento model reliéfu má být vytvořen do konce roku 2015 (ČÚZK, 2015). Problémem však je možnost porovnání s dřívějšími modely, které nemají takovou přesnost a použití této metody je v podmínkách ČR zatím nevhodné (i s ohledem výše zmiňované plíživé změny) (Borufka, 2013).

### 3.2.2 Sledování barevných změn povrchu půdy

Druhým možným přístupem ke sledování vývoje eroze je hodnocení barevných změn povrchu půdy, které jsou dané smyvem humusového horizontu. Barva půdy je jeden ze základních morfologických znaků, sloužící například k popisu profilu půdy a dělení na půdní horizonty. Barva půdy je ovlivněna jak chemickým a minerálním složením, tak i půdotvornými procesy a obsahem organických látek (Novák et Zlatušková, 2012).

Sledování erodovaných lokalit v určitém časovém období slouží k hodnocení přesunu půdního materiálu na určitém území (Vrieling, 2006). Pokud na sledovaném území dochází k erozním procesům, jsou odplaveny či odneseny svrchní tmavší půdní horizonty (A) s vysokým obsahem humusových látek, tím dojde k odkrytí světlejšího horizontu B popř. C. Na snímcích je pak možné sledovat světlejší a tmavší části zájmového území. Kontrast mezi světlou a tmavou barvou také závisí na skladbě půdní struktury (Fulajtár, 1994).

Faktor, který může tento způsob sledování eroze znemožnit, je pokryv sledovaného území vegetací. Letecké snímkování je primárně určeno pro civilní či vojenské topografické mapování, které se provádí převážně v letních měsících, proto je obtížné získat vhodné snímky v mimovegetačním období, kdy je významná část zemědělských pozemků bez plodin. Problému lze částečně předejít použitím časové řady fotografií, nebo snímkováním v době vegetačního klidu (Fulajtár, 1994).

Dalším negativem interpretace leteckých snímků jsou světlejší místa sledovaného území, které ovšem nesouvisí s erozí. Jedná se o písčité struktury chudého obsahu humusových látek, které mylně označujeme jako erodované území. Tyto místa lze identifikovat pomocí stereoskopické analýzy snímků nebo je ověřit terénním pozorováním (Fulajtár, 1994). Při sledování erozních jevů na základě barevných změn je tedy třeba vybírat substrátově homogenní území. Zajímavým problémem může být i působení tzv. koluviačního procesu, který je typický pro silně erodovaná území, kdy mohou být tyto plochy (degradované

na spraš) opětovně překryty uvolněnými sedimenty povrchového A- horizontu z odlehlých částí svahu, případně i naopak (Netopil et Šarapatka, 2009).

Netopil et Šarapatka (2009), se zabývali výzkumem erozních procesů na základě vizuální obrazové interpretace a klasifikace leteckých snímků na jižní Moravě. Výsledky jejich studie poskytují relativně přesný odhad dynamiky půdní eroze za posledních 30 - 40 let a mohou sloužit k dalšímu počítačovému zpracování pomocí matematických modelů, geostatických postupů, zabývající se ztrátou / akumulací půdy.

Letecké snímky je také možné analyzovat na základě různých barevných modelů. Barva je často používána k identifikaci a klasifikaci půdy. K jejímu stanovení se v pedologii využívají Munsellovy tabulky, které charakterizují barvu na základě jejích tří základních vlastností (základní barva, odstín, intenzita). Pro kvantitativní popis barvy byly vytvořeny i další barevné modely jako jsou RGB, CIE XYZ, CIE YXY, CIELAB a CIELuv, které mohou být pro sledování barevných odlišností půdy využity (Viscara et al., 2006).

Použití jednotlivých barevných modelů se může lišit, v závislosti na účelu analýzy. Například, pokud se barva použije jen pro popisné účely, je dostačující pouze Munsellova stupnice, pokud je však potřeba využít analýz statistických nebo předpovědi vývoje určitého stavu, využívá se složitějších modelů. Pro stanovení organického půdního uhlíku jsou nejvhodnější například: CIE Luv nebo CIE LAB, které jsou představeny níže (Viscara et al., 2006).

### **3.2.2.1 Barevné modely využívané pro sledování půdy**

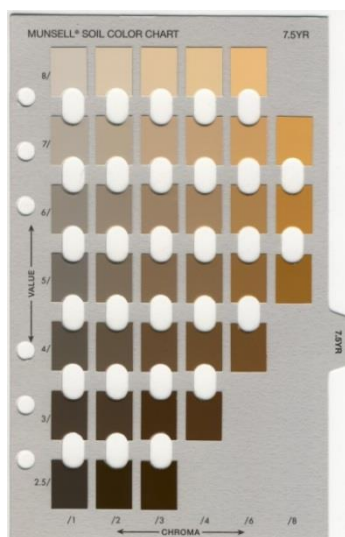
Barva je třídímní psychofyzický jev, který lze měřit mnoha způsoby. Pro účely zkoumání půdy se využívají ty, které vytváří rovnoměrné rozdíly barev (např. Munsellův model) a ty, které spojují spektrální profil barev do základních jednotek barevného vnímání tzv. tříbarevná kolorimetrie (RGB, CIE XYZ systémy a jejich deriváty) (Viscarrá et al., 2006).

#### **3.2.2.1.1 Munsellův HVC barevný model**

Barvu půdy obvykle popisuje kvalitativně pomocí tří veličin: hodnota, odstín, sytost (HVC). Tyto tři veličiny popisují vnímání barevného prostoru, nikoliv kvantitativní hodnoty záření. Odstín je označován písmeny (R pro červenou, YR pro žlutočervenou a Y pro žlutou), před kterými jsou čísla, znamenající hodnotu barvy od 0 (černá) do 10 (bílá). Sytost je rovněž popsána číselně, minimální hodnota je 0 pro neutrální šedou a maximem je 20. Tento model



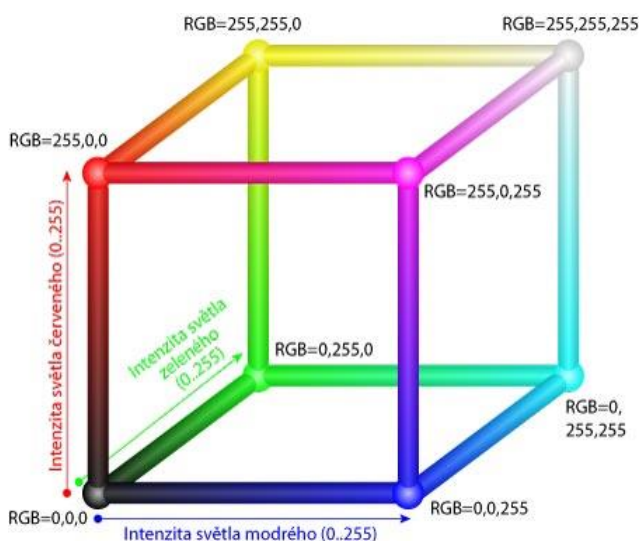
(Obrázek 3) je navržen tak, aby zajistil stejné intervaly vnímání barev. Jeho primární výhodou je jednoduchost (Viscarra et al., 2006).



Obrázek 3. Příklad listu Munsellových tabulek. Zdroj: Fletcher et Veneman, 2014.

### 3.2.2.1.2 RGB

Systém RGB je složený ze třech základních barev - červená (R), zelená (G) a modrá (B). Na základě jejich kombinování v rozsahu od 0 (nejsvětější) do 255 (nejtmavší) vznikají další barvy. Kombinací číselných hodnot lze dosáhnout požadovaných odstínů. Smíšením všech barev vzniká bílá, proto je tento model využíván i na různých zobrazovacích zařízeních (Kohout, 2009). RGB model v podobě krychle je znázorněn na Obrázku 4.



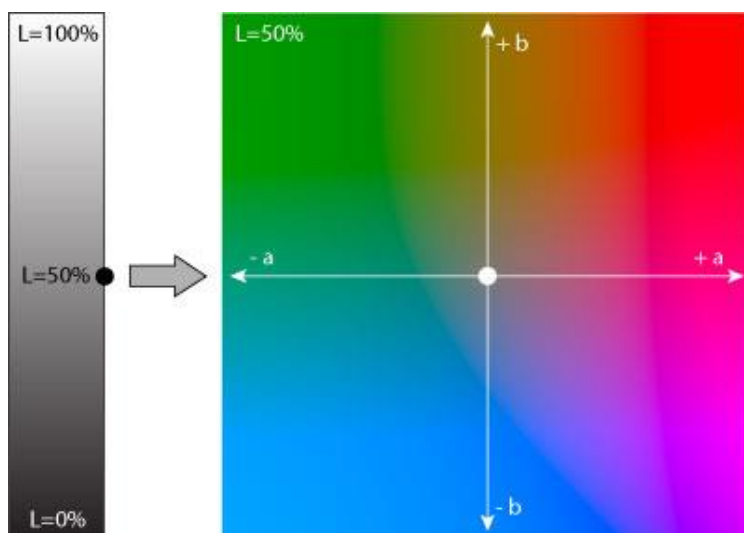
Obrázek 4. Barevný model RGB znázorněn jako krychle. Zdroj: Pihan, 2012.

### 3.2.2.1.3 CIE XYZ, CIE YXY

Tento model byl vytvořen v roce 1931 ve studii Commission internationale de l'éclairage (CIE). Model se skládá ze 3 komponentů: Y představuje jas barvy, X a Z jsou parametry specifikace barvy (Poynton, 1997). Tento systém byl navržen k zobrazování nezáporných trichromatických hodnot pro každou barvu. Často se využívá jako základ k další specifikaci barev v systémech CIE LAB nebo CIE Luv (Viscarra et al., 2006). Barevný prostor, který obsahuje pouze hodnoty X a Y se nazývá CIE YXY nebo jen CIE XY (Poynton, 1997).

### 3.2.2.1.4 CIE LAB a CIE Luv

Barevné modely CIE LAB a CIE Luv byly představeny CIE v roce 1976. CIE LAB je určen pro barevné povrchy, zatímco CIE Luv pro použití v oboru barevných světel. Oba modely přinesly zlepšení korelací mezi vizuálním posudkem a objektivním hodnocením barevného vzhledu. Stejně jako RGB potřebuje i model CIE LAB tři hodnoty pro popis barvy. Písmeno L označuje jas s hodnotami od 0 (černá) do 100 % (bílá). Písmena a a b popisují barvu bodu. Model CIE LAB popisuje Obrázek 5. Použití těchto modelů je vhodné v případě, že je možné zajistit standardní podmínky pozorování (Habel, 2009).



Obrázek 5. Schéma barevného modelu CIE LAB. Zdroj: Pihan, 2012.

### 3.3 *Letecké snímkování v České republice*

#### 3.3.1 **Historie**

Letecké snímkování území pro účely tvorby map má na území České republiky dlouhou tradici. První měřický letecký snímek byl pořízen československou armádou v roce 1935.

Ve 30. a 40. letech byly letecké snímky pořizovány v malém rozsahu a zejména k vojenským účelům nebo jako kontrolní podklad k tvorbě map. Měřičské letecké snímky byly poprvé využity k tvorbě mapy během 40. a 50. let 20. století. V tomto období byla zdokumentována téměř celá dnešní Česká republika a bylo vytvořeno mapové dílo v měřítku 1 : 25 000 (Struha, 2013).

Mezi lety 1957 a 1968 bylo vytvářeno stále podrobnější mapování, tím vzrůstaly i požadavky na snímkování ve velkých měřítcích. V těchto letech se snímkovalo v měřítcích od 1 : 12 000 do 1 : 30 000 (Struha, 2013).

Území Československa bylo od roku 1964 do 90. let kompletně zdokumentováno celkem čtyřikrát, v měřítcích 1 : 25 000 až 1 : 27 000. Souběžně vznikala i mapa o měřítku 1 : 10 000 pro tvorbu důlních, lesních map a plánů, ke zjišťování odtěžených hmot v povrchových dolech, také k tvorbě železniční mapy a pro další zvláštní účely (Struha, 2013). Mimo snímkování celé plochy České republiky pro účely tvorby map, probíhalo i snímkování pro vojenské účely. Dokumentovaly se různé vojenské objekty a areály, někdy je možné v archivu VGHMůř. dohledat i náhodná místa snímkování.

Celý proces od získání, výrobu a distribuci odvozených leteckých snímků měla do konce 90. let na starosti armáda prostřednictvím dnešního Vojenského geografického a hydrometeorologického úřadu v Dobrušce.

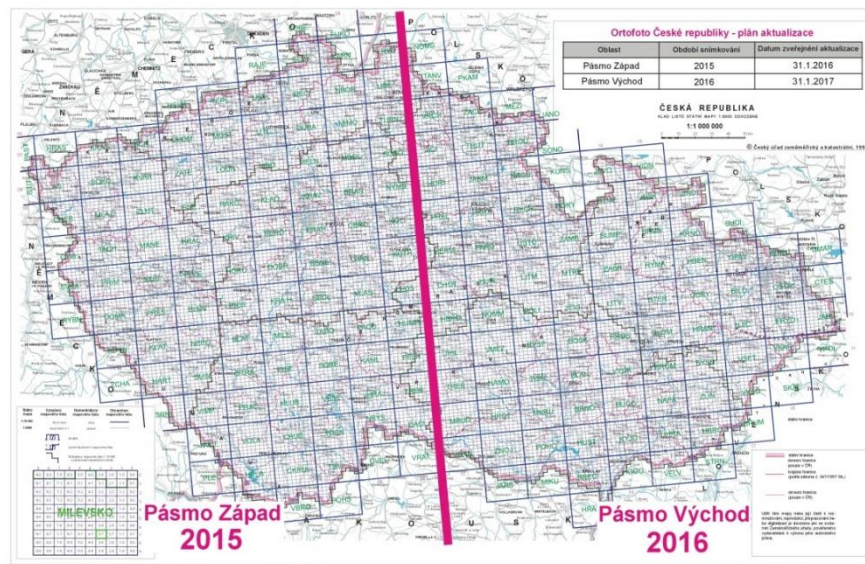
Naprostá většina snímků, které VGHMůř. Dobruška archivuje, jsou černobílé negativy, menší množství snímků je barevných nebo infračervených. Nejstarší snímky jsou převáděny na novější filmové materiály či do digitální podoby, protože staré snímky podléhají negativním vlivům (plíseň, zesvětlení atd.). Archiv obsahuje kolem 800 000 originálních leteckých snímků a souvisejících dokumentů.

Do roku 1989 byly snímky poskytovány výhradně státním podnikům nebo institucím a vytvářela je pouze armáda. Po roce 1989 mohou snímky pořizovat i specializované soukromé společnosti (Struha, 2013).

### 3.3.2 Současnost

V současné době se dokumentací území České republiky zabývá Český úřad zeměměřičský a katastrální (ČÚZK) ve spolupráci s Vojenským a hydrometeorologickým úřadem v Dobrušce (VGHMúř.) na základě dohody ČÚZK s Ministerstvem zemědělství a Ministerstvem obrany. Mezi roky 2003 a 2011, se byla snímkována 1/3 území České republiky ročně (Borufka, 2013).

Po poledníkových páslech byla Česká republika rozdělena na 3 části: Západ, Střed a Východ. V roce 2012 došlo ke zrychlení snímkování i tvorby ortofotomaps a v současné době tento proces probíhá ve dvouleté periodě, kdy je každý rok snímkována polovina území České republiky (Obrázek 6). K získání mapových podkladů a dat pro potřeby soukromých osob, lze využít internetový obchod, vytvořit objednávku a získat snímky / mapy zájmového území (ČÚZK, 2014a). Do roku 2008 bylo ortofoto ČR vytvářeno s velikostí pixelu 0,5 m, Od roku 2009 je vytvářeno s velikostí pixelu 0,25 m. Počínaje rokem 2010 je navíc snímkování prováděno digitální kamerou, což způsobilo další významné zvýšení kvality produktu (ČÚZK, 2014a). Další možností k získání leteckých snímků jsou společnosti, které zhotoví dokumentaci předem určeného území prostřednictvím objednávek, popřípadě je možné pátrat v archivech Obecních úřadů obcí (Borufka, 2013).



Obrázek 6. Rozdělení České republiky podle poledníkových pásem pro tvorbu ortofotomaps Zdroj: ČÚZK, 2014.

### 3.3.3 **Instituce poskytující letecké snímky**

#### 3.3.3.1 **Geografická služba armády České republiky**

Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad v Dobrušce (VGHMúř.) je jedinou státní složkou u nás, kde je možné získat historické snímky celého území České republiky. VGHMúř. je složkou GeoSL AČR (2007). Ta je součástí ministerstva obrany České republiky a slouží k zabezpečení ozbrojených sil České republiky, Severoatlantické aliance a ozbrojených sil EU. GeoSL AČR sbírá informace nezbytné pro řízení a velení jednotlivých složek armády. VGHMúř. má za úkol sbírat informace, tvořit a spravovat kartografické, geografické a geodetické podklady, mapy a speciální databáze určené pro zabezpečení obrany České republiky. Dále plní úkoly přímé geodetické, geografické a hydrometeorologické podpory velitelů a štábů vojsk při výcviku a řešení humanitárních operací, zejména při ohrožení bezpečnosti České republiky (Borufka, 2013).

VGHMúř. spravuje veškeré letecké snímky z počátků leteckého snímkování (1938 - 39) až do devadesátých let 20. století (GeoSL AČR, 2007). Na základě historických dat z let 1949 - 1956 poskytnutých VGHMúř. byl v letech 2009 - 2012 českou informační agenturou životního prostředí (CENIA) vytvořen projekt Národní inventarizace kontaminovaných půd, který je zaměřen na metodiku plošné inventarizace kontaminovaných a potenciálně kontaminovaných míst a na kategorizaci priorit na území České republiky (Borufka, 2013).

#### 3.3.3.2 **Český úřad zeměměřičský a katastrální**

Český úřad zeměměřičský a katastrální (ČÚZK) má kromě správy katastru nemovitostí, budování a údržby podrobných bodových polí a mnoho dalšího, na starost tvorbu, obnovu a vydávání základních a tematických státních mapových děl a jiných publikací. Součástí tohoto působení je i tvorba ortofoto map a jejich poskytování veřejnosti. Pro tyto účely má ČÚZK vytvořen geoportál s internetovým obchodem (ČÚZK, 2013).

Geoportál ČÚZK je webová stránka určená pro přístup k prostorovým datům pořizovaným a aktualizovaným v resortu Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (ČÚZK). Rovněž umožňuje vyhledat informace (metadata) o prostorových datech, dále je možné tato data prohlédnout, případně objednat ve formě souborů či služeb. Geoportál rovněž poskytuje sdílení informací jako souborů prostorových dat odpovídajících tématům, zpřístupnění služeb založených na prostorových datech, služby elektronického

obchodu, sdílení souborů prostorových dat ve veřejné správě nebo informování o využívání infrastruktury (Borufka, 2013).

### 3.3.3.3 CENIA

Česká informační agentura životního prostředí (CENIA) je příspěvková organizace ministerstva životního prostředí. Jejím úkolem je shromažďování, vyhodnocování, interpretace a distribuce informací o životním prostředí. Tato organizace spravuje mapové služby Portálu veřejné správy <http://geoportal.gov.cz>, které představují aplikaci dat o životním prostředí. Dále spolupracuje se všemi poskytovateli datových zdrojů v resortu životního prostředí a s řadou vědeckých institucí i universitních pracovišť. V rámci České republiky je CENIA kontaktním místem Evropské agentury pro životní prostředí (EEA) a je zapojena do Evropské informační a pozorovací sítě pro životní prostředí Eionet (CENIA, 2012).

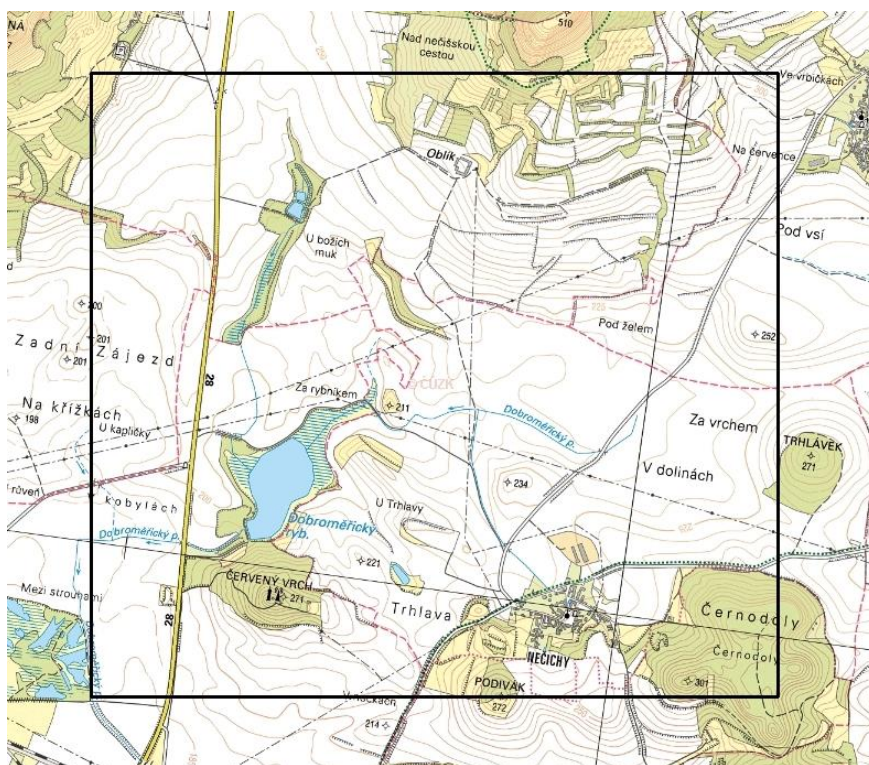
## 4 Metody

### 4.1 Charakteristika širších sledovaných území

Pro vlastní práci byly vybrány dvě širší území v černozemních regionech, oblast Lounsko a jižní Morava, na kterých byla provedena analýza vhodnosti snímků pro dané hodnocení. Na jejím základě pak došlo k výběru jedné plochy v rámci obou oblastí, na nichž bylo provedeno vlastní sledování vývoje v čase.

#### 4.1.1 Zájmové území Lounsko

Sledované území ve tvaru obdélníku o rozměrech 3,3 x 3 km je umístěno severně města Louny. V jihovýchodní části území se nachází obec Nečichy. Nejvyšší bod s názvem Černodoly je položen 301 m nad mořem a je situován východně obce Nečichy. Součástí území je i Dobroměřický rybník. Umístění sledovaného území je znázorněno v mapě ČR (Obrázek 7) a leteckém snímku (Obrázek 8).



Obrázek 7. Výřez mapy ČR s vyznačeným širším územím v původním měřítku 1 : 20 000. Mapa poskytnuta © 2014 ČÚZK.



Obrázek 8. Ortofoto vyznačeného širšího území v původním měřítku 1 : 20 000. Snímek poskytnutý © 2015 ČÚZK.

Podle mapy skupiny půdních typů (Obrázek 9) odvozené ze systému BPEJ vyplývá, nejčastější výskyt černozemě (tmavě šedá barva), která pokrývá spíše méně členité plochy území. Na svazích kopců tvořených třetihorními výlevnými horninami se vyskytují kambizemě (hnědá barva) a rankery. V jižní části sledovaného území se vyskytují regozemě (žlutá barva), které se vytvořily na terasových sedimentech řeky Ohře. Výjimečně zde můžeme najít i další půdní typy (rendziny a pararendziny).



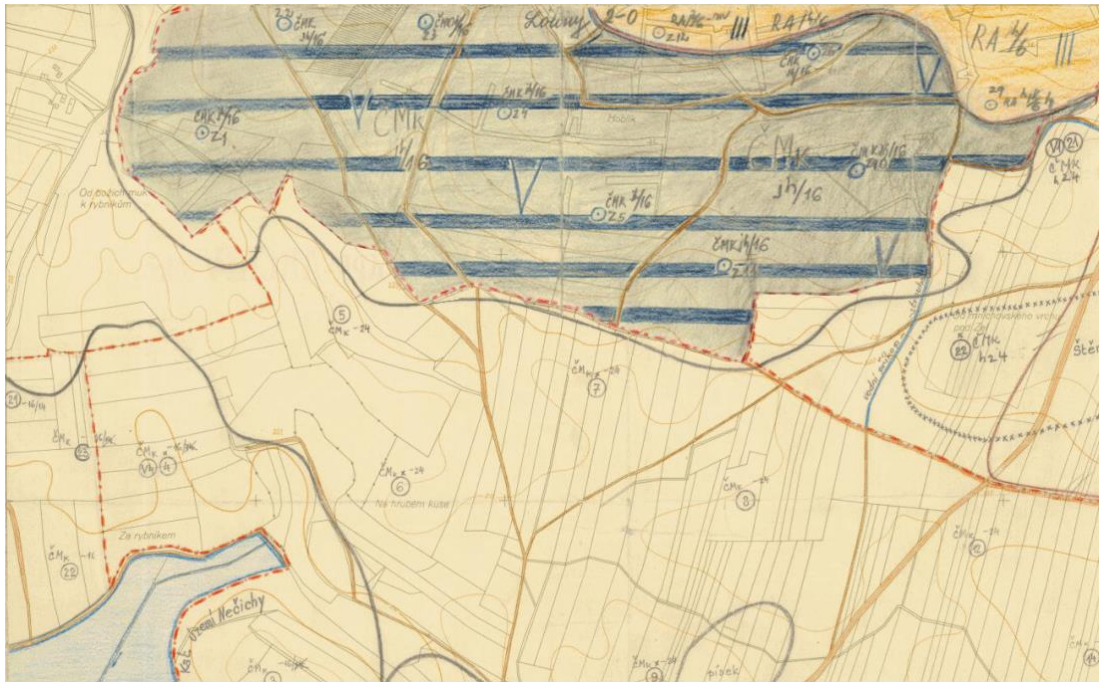


Skupiny půdních typů

	černozemě		kambizemě, rankery,
	hnědozemě		litozemě
	luzizemě		silně svažitě půdy
	rendziny, pararendziny		pseudogleje
	regozemě		fluvizemě
	kambizemě		černice
	kambizemě dystrické,		gleje
	podzoly, kryptopodzoly		

Obrázek 9. Skupiny půdních typů v zájmovém území Lounsko, mapa v původním měřítku 1 : 20 000. Zdroj: VÚMOP, 2011.

Náhled mapy Komplexního průzkumu zemědělských půd (KPP) (Obrázek 10) v měřítku 1 : 5 000 zobrazuje převažující výskyt černozemí na slínech (ČM 16). Další půdní typy, které se na sledovaném území vyskytují jsou rendziny.

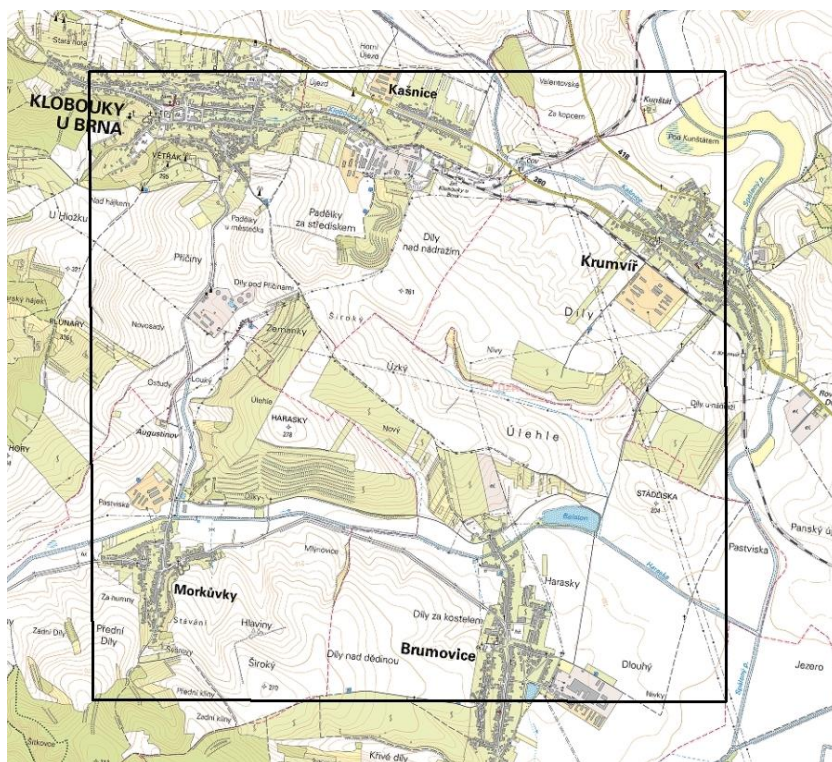


Obrázek 10. Půdní mapa části území Lounsko- výřez mapy KPP z roku 1954. Zdroj: VÚMOP, 2014.

Využití půdy ve zvoleném území je převážně zemědělské. Ornou půdu ohrožuje především vodní eroze a také intenzivní zemědělské hospodaření (eroze orbou). Za období mezi 1961 – 1990 dosáhly průměrné roční srážky 300 – 500 mm a průměrné roční teploty byly 8 – 9 °C (ČHMÚ, 2013).

#### 4.1.2 Zájmové území jižní Morava

Sledované území o rozloze 4,5 x 4,5 km se nachází jihovýchodně Brna v katastrálních územích obcí Morkůvky, Brumovice, Krumvíř a Klobouky u Brna. Umístění sledované lokality znázorňuje výřez mapy ČR (Obrázek 11) a leteckého snímku (Obrázek 12). Nejvyšším bodem v dané lokalitě jsou Harasky s nadmořskou výškou 278 metrů.

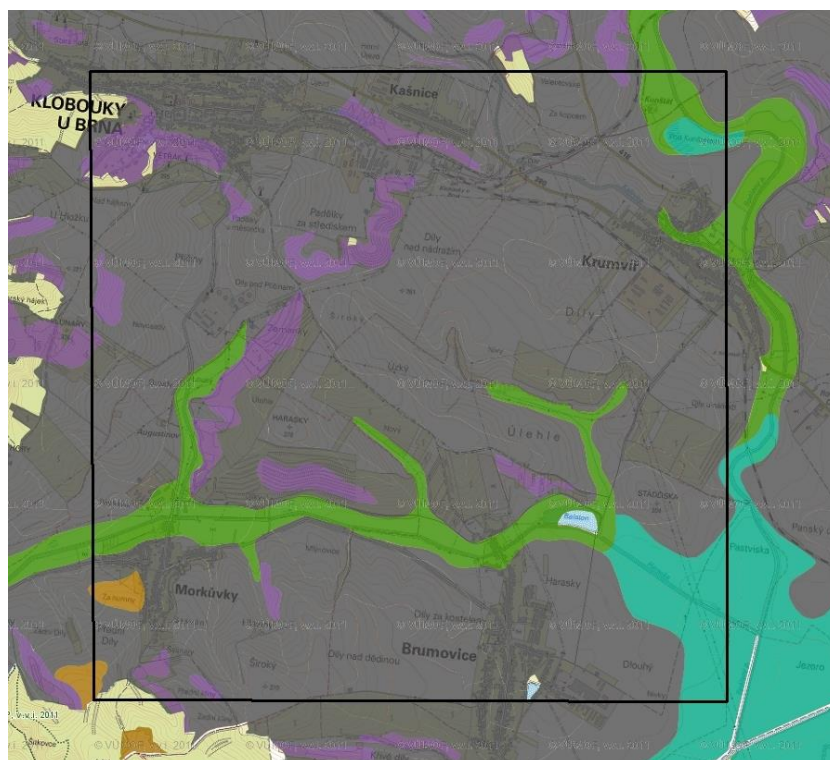


Obrázek 11. Výřez mapy ČR s vyznačeným širším území jižní Morava v původním měřítku 1 : 25 000. Mapa poskytnuta © 2014 ČÚZK.



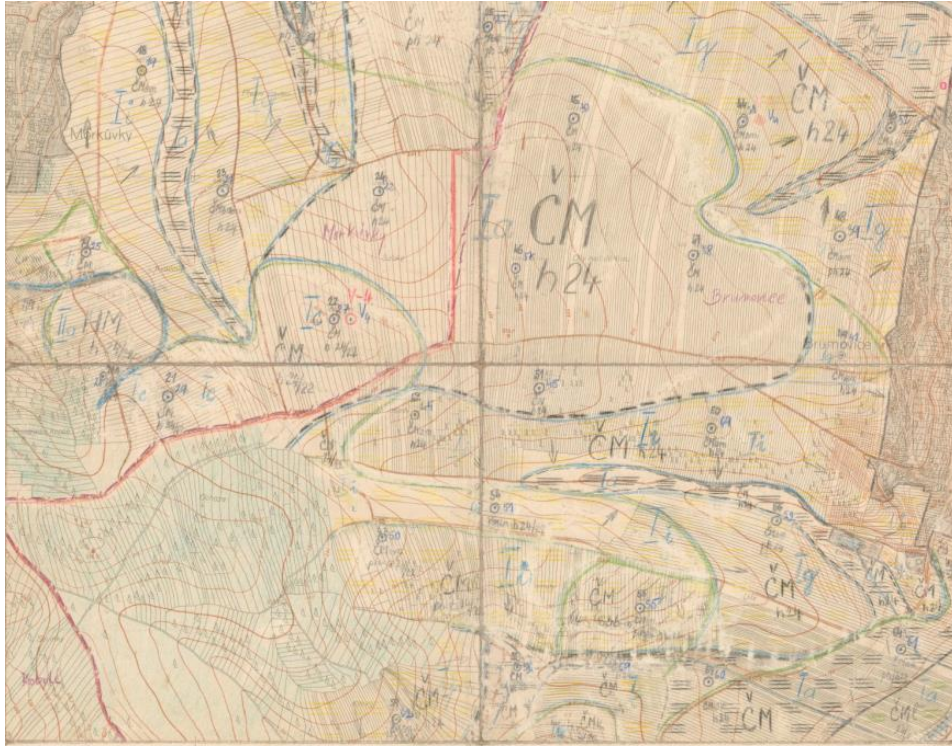
Obrázek 12. Ortofotomapa vyznačeného území jižní Morava v původním měřítku 1 : 25 000. Snímek poskytnutý © 2015 ČÚZK.

Podle mapy skupiny půdních typů (Obrázek 13) odvozené ze systému BPEJ se na sledované lokalitě vyskytují převážně černozemě (šedá barva), fluvizemě (zelená barva) a okrajově i černozemě (barva aqua) nebo kambizemě (světle hnědá barva). Na některých místech, je značen výskyt silně svažitých půd (fialová barva).



Obrázek 13. Skupiny půdních typů v zájmovém území jižní Morava, mapa v původním měřítku 1 : 25 000. Zdroj: VÚMOP, 2011.

Náhled mapy Komplexního průzkumu zemědělských půd (KPP) (Obrázek 14) v měřítku 1 : 5 000 zobrazuje převažující výskyt černozemí na spraši (ČM 24). Další půdní typ, který se na sledovaném území vyskytuje jsou hnědozemě (HM). Žluté šrafování označuje smyv černozemí, modré šrafování pak akumulaci erodovaného materiálu.



Obrázek 14. Půdní mapa části území Morava – výřez mapy KPP z roku 1954. Zdroj: VÚMOP, 2014.

Sledované území je intenzivně zemědělsky obhospodařováno a ohrožuje ho zejména vodní eroze a eroze orbou. ČHMÚ (2013) uvádí, že průměrné teploty dosahovaly 8 - 9 °C a průměrný roční úhrn srážek 500 - 600 mm ročně.

## 4.2 Kompletace časové série leteckých snímků

Letecké snímky byly poskytnuty Českým úřadem zeměměřičským a katastrálním v Praze (ČÚZK) a Vojenským geografickým a hydrometeorologickým úřadem v Dobrušce (VGHMúř.). Snímky pořízené od roku 2000 poskytuje ČÚZK, zatímco snímky starší jsou uloženy v archívech VGHMúř. v Dobrušce. Časová série leteckých snímků, která byla získána má rozmezí let 1938 - 2013.

### 4.2.1 Analýza leteckých snímků

#### 4.2.1.1 Georeferencování snímků

Různá měřítko a kvalita snímků je spojena s vývojem fotografovací techniky a také procesem sledování povrchu Země dřív a v současnosti. V minulosti se snímkování terénu zabývalo spíše sledováním větších území pro tvorbu map a rozsáhlejších prvků krajiny, popřípadě dokumentováním vojenských objektů. Dnes se letecké snímky využívají pro

podrobnější studie jednotlivých území, proto je nutné, aby měly snímky vyšší rozlišení a byl na nich zřetelně vidět každý jednotlivý prvek.

U starších snímků je velkou nevýhodou kvalita zobrazení, která je v porovnání s novými snímky značně rozdílná. Rozdíl kvality je znázorněn na Obrázku 15 v měřítku 1:1 000.



**Obrázek 15. Porovnání leteckých snímků. Detail obce Nečichy. Vlevo letecký snímek z roku 2011 s rozlišením rastru 0,5 metru. Vpravo letecký snímek z roku 1938 snímekovaný s rozlišením 1 : 20 000. Letecký snímek poskytl © 2012 ČÚZK a VGHMůř Dobruška, © MO ČR 2011.**

Pro sjednocení měřítek jednotlivých snímků a stanovení stejného souřadnicového systému v prostředí GIS bylo nutné historické snímky tzv. georeferencovat pomocí programu ArcMap. Tato operace musela být provedena u starších leteckých snímků poskytnutých VGHMůř. Dobruška, které jsou poskytovány jako fotografie bez prostorového uchycení do souřadnicového systému. Novější snímky, které poskytuje ČÚZK, mají souřadnicový systém S-JTSK definovaný, proto se nemusí dále upravovat. Historické snímky tedy bylo nutné pomocí nástroje „geoprocessing“ ukotvit. Při zvolení minimálně 3 identických referenčních bodů (např. starý statek dochovaný dodnes, skála nebo kostel), které lze bezpečně identifikovat na snímku historickém i současném, proběhne jejich ukotvení na podkladu s definovaným souřadnicovým systémem – snímek nebo mapa. Tak dojde k překrytí obou snímků a sjednocení jejich měřítek. Tato operace byla provedena na všech snímcích poskytnutých VGHMůř. Dobruška.

#### 4.2.1.2 Výběr ploch bez vegetace v časové sérii

Dalším krokem bylo analyzování všech snímků zaměřené na výběr vhodných ploch, které nejsou porostlé vegetací. Pro zájmová území byla vymezena obdélníková / čtvercová plocha, kde docházelo k překrytí leteckých snímků ze všech časových období. Jako výchozí plochy byly vybrány tzv. půdní bloky ze systému LPIS. Vlastní hodnocení bylo provedeno na základě morfologie (struktury) a barevnosti snímků vizuálním vyhodnocením jednotlivých půdních bloků. Na základě této analýzy, byla vypracována pomocná mapa, ve které byly pro jednotlivé bloky uvedeny 4 třídy viditelnosti možných erozních změn.

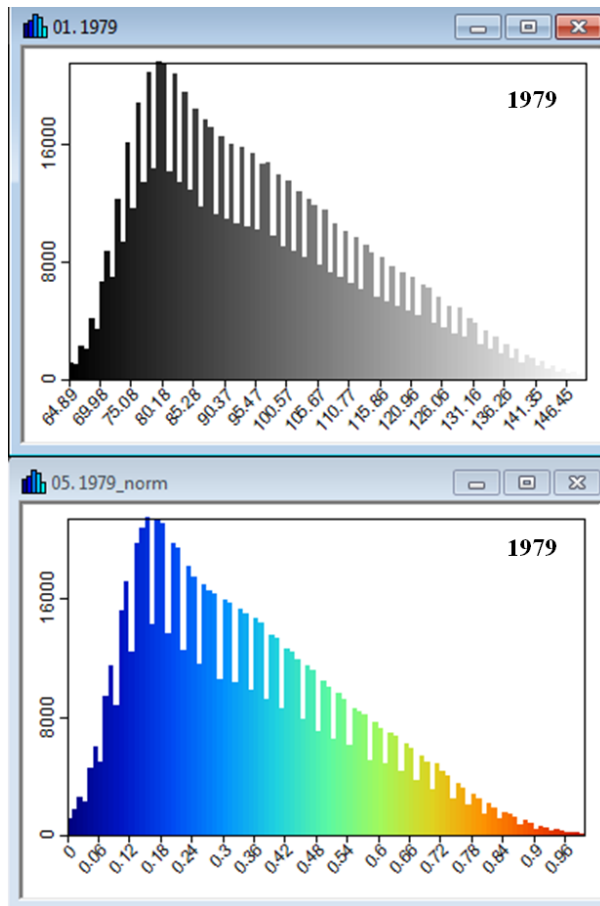
Jednotlivé třídy viditelnosti holého povrchu byly rozděleny následujícím způsobem:

- třída  
Případné erozní jevy nelze pozorovat, protože je půdní blok pokrytý vegetací, či posklizňovými zbytky a není zkultivován nebo je podíl, kde můžeme sledovat holý povrch půdy velmi malý (< 10 %).
- třída  
Je možné lokalizovat určité znaky eroze, v podobě odkrytí spodních půdních horizontů, ale nelze je s přesností identifikovat z důvodů, že jsou půdní bloky z části zarostlé vegetací nebo je podíl, kde můžeme erozní znaky sledovat menší než < 40 %.
- třída  
Na půdním bloku můžeme sledovat místa s potenciálním erozním nebezpečím. Viditelnost holého povrchu půdy dosahuje 40 - 70% sledovaného půdního bloku.
- třída  
Půdní blok je bez pokryvu vegetace a jsou jednoznačně viditelné erodované plochy, jejichž plocha přesahuje minimálně 70 % půdního bloku.

Tato klasifikace byla provedena pro všechny bloky a dostupné roky s leteckými snímky. Návazným krokem bylo překrytí těchto pomocných map, aby bylo možné najít půdní bloky ve fázi bez vegetačního pokryvu na překrývajících se snímcích v co nejdelší časové sérii, tak aby bylo možné zachytit intenzitu erozních změn za určité časové období. Jako minimální časový rozdíl mezi jednotlivými snímky byla stanovena hranice deseti let

#### 4.2.2 Vlastní hodnocení stavu eroze

Pro vlastní hodnocení stavu eroze na vybraných půdních blocích byla provedena analýza výřezu leteckých snímků z vybraných časových období. Veškeré letecké snímky byly převedeny do černobílého formátu a pro další analýzu barevných snímků tak byla brána střední hodnota RGB. S ohledem na to, že každý z použitých snímků měl jiný rozsah barevné škály RGB, bylo třeba hodnoty normalizovat do stupnice 0 - 1 (Obrázek 16).



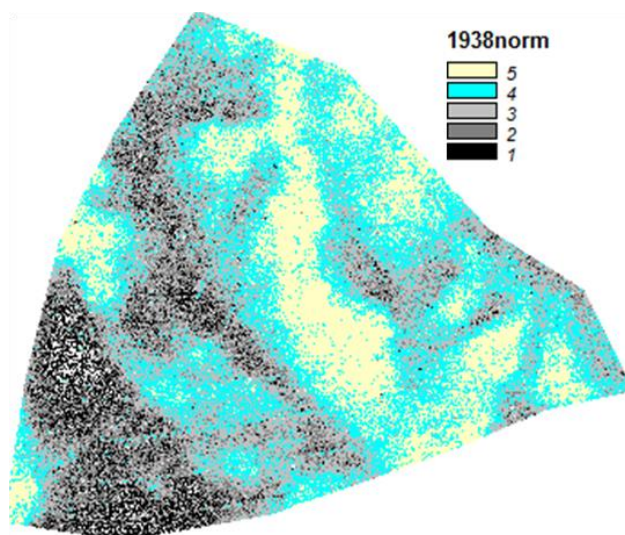
Obrázek 16. Histogram černobílého snímku (nahore) a histogram po provedené normalizaci (dole). Půdní blok Jižní Morava.

Tato procedura zajistí sjednocení barevné škály do stejného rozsahu od míst nejtmašších (modrá barva) až po nejsvětější (červená barva). Vychází se z předpokladu, že i na nejstarších snímcích se již nacházejí místa s plně erodovanými plochami prezentovanými vyoraným půdotvorným substrátem (slín, spraš).

Výsledné normalizované snímky byly klasifikovány pomocí klastrové analýzy v programu SAGA (Obrázek 17). Porovnání změny pěti tříd na snímcích sloužilo k finálnímu zhodnocení postupu eroze v čase:



1. Neerodovaná plocha (podíl A horizontu 80 - 100 %)
2. Slabě erodovaná plocha (podíl A horizontu min. 60 - 80 %)
3. Středně erodovaná plocha (podíl A horizontu min. 40 - 60 %)
4. Výrazně erodovaná plocha (podíl A horizontu min. 20 - 40 %)
5. Plně erodovaná plocha (podíl A horizontu max. 0 - 20 %)



Obrázek 17. Klasifikace pomocí klastrové analýzy půdního bloku na území Louny v prostředí programu SAGA.

### 4.3 Posouzení ztráty půdní organické hmoty

Kromě zhodnocení postupu erodovaných ploch byl vyhodnocen i úbytek půdní organické hmoty na sledovaném území pomocí provázání leteckých snímků s analýzou půdních vzorků. U půdních vzorků odebraných v odlišných částech sledovaného půdního bloku s různou úrovní eroze, byl stanoven obsah organických látek. Následně byly vzorky nasnímány digitálním fotoaparátem a byl popsán vztah mezi barevnou škálou a obsahem organických látek.

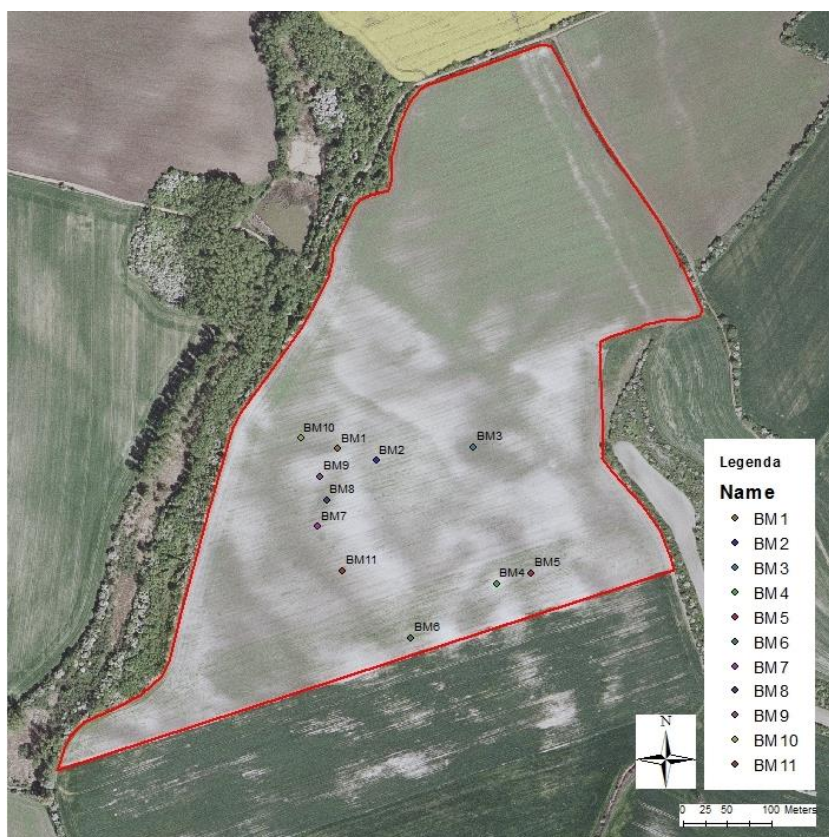
#### 4.3.1 Odběr půdních vzorků

Odběr půdních vzorků na zájmových územích proběhl na podzim roku 2014. Na zájmovém území Louny byly odebrány vzorky z orniční vrstvy rozmístěných na celé ploše pozemku tak, aby byly postiženy všechny části reliéfu s různou mírou eroze a sedimentace erodovaného materiálu. Body odběru byly lokalizovány prostřednictvím GPS dat. Na zájmovém území Jižní Morava byl odebrán směsný vzorek z neerodovaného černického

horizontu a substrátu (spraš). Po odběru následovalo jejich rozmělnění a vysušení v sušárně při teplotě 35 °C. Vzorky byly následně rozemlety v laboratoři, prosety sítím o rozměru ok 0,25 mm a připraveny k dalšímu měření.

#### 4.3.1.1 Území Louny

Z území bylo odebráno celkem 11 vzorků, které mají označení BM 1 - 11. Obrázek 18 znázorňuje místa odběru na zkoumaném půdním bloku a jejich označení.



Obrázek 18. Snímek zvoleného půdního bloku s místy odběru vzorků na zájmové lokalitě Lounsko. Letecký snímek poskytl © 2015 ČÚZK.

#### 4.3.1.2 Území jižní Morava

Na zájmovém území jižní Morava byl odebrán směsný vzorek z neerodovaného černického horizontu a substrátu (spraš). Pro následnou analýzu vztahu barva - obsah organických látek byly připraveny směsi těchto dvou materiálů.

#### 4.3.2 **Laboratorní měření množství humusu v půdě**

Stanovení množství organického uhlíku bylo provedeno metodou oxidace na mokré cestě. Oxidovatelný organicky vázaný uhlík ve vzorku půdy je oxidován kyselinou chromovou, v prostředí nadbytku kyseliny sírové za definovaných podmínek. Nespotřebovaná kyselina chromová se stanovuje titračně roztokem Mohrovy soli s biamperometrickým stanovením konce titrace (Zbiral, et al., 2011).

## 5 Výsledky

### 5.1 Výběr vhodných leteckých snímků

Celkem bylo z VGHMůř. Dobruška a ČÚZK získáno pro období mezi roky 1938 a 2014 185 snímků. 79 leteckých snímků zájmové území Louny a 106 snímků území jižní Morava. Přehled a charakteristiku snímků uvádí tabulka 1 a 2.

Instituce	Datum pořízení	Měřítko	Počet snímků	Typ snímků
VGHMůř.	? . ? . 1938	1:20 000	4	černobílé
	? . ? . 1946	1:10 000	1	pozitiv
	12 . 8 . 1952	1:25 000	2	černobílé
	30 . 8 . 1958	1:12 000	2	černobílé
	24 . 9 . 1964	1:38 300	1	černobílé
	16 . 4 . 1982	1:29 600	1	černobílé
	30 . 8 . 1985	1:14 270	2	černobílé
	5 . 10 . 1987	1:7 490	1	černobílé
	22 . 4 . 1993	1:23 360	1	černobílé
ČÚZK	20 . 5 . 2005	1:5 000	16	barevné
	11 . 5 . 2008	1:5 000	16	barevné
	15 . 5 . 2011	1:5 000	16	barevné
	22 . 7 . 2013	1:5 000	16	barevné

Tabulka 1. Přehled všech získaných snímků území Louny z uvedených institucí.

Instituce	Datum pořízení	Měřítko	Počet snímků	Typ snímků
VGHMůř.	? . ? . 1938	Neznámé	4	černobílé
	26 . 7 . 1953	1 : 25 000	4	černobílé
	10 . 6 . 1976	1 : 19 800	4	černobílé
	15 . 8 . 1978	1 : 13 100	6	barevné
	2 . 10 . 1979	1 : 20 180	3	černobílé
	26 . 5 . 1986	1 : 14 640	4	černobílé
	3 . 5 . 1990	1 : 25 800	1	černobílé
ČÚZK	4 . 5 . 2003	1 : 5 000	16	barevné
	13 . 6 . 2006	1 : 5 000	16	barevné
	26 . 5 . 2009	1 : 5 000	16	barevné
	30 . 6 . 2012	1 : 5 000	16	barevné
	4 . 7 . 2014	1 : 5 000	16	barevné

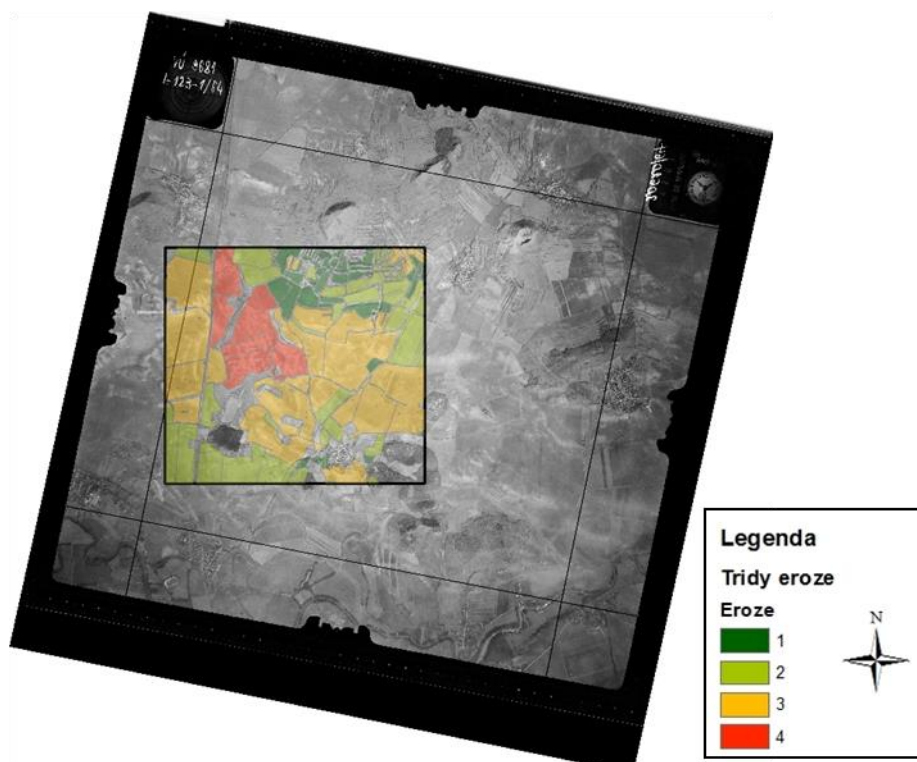
Tabulka 2. Přehled všech získaných snímků území jižní Morava z uvedených institucí.

Primární výběr vhodných roků snímkování byl podmíněn tím, že snímek (popř. mozaika více snímků) z daného roku překrývaly celé sledované území a že měly dostatečnou technickou kvalitu. Jako vhodné snímky pro analýzu byly zvoleny roky 1938, 1952, 1964,

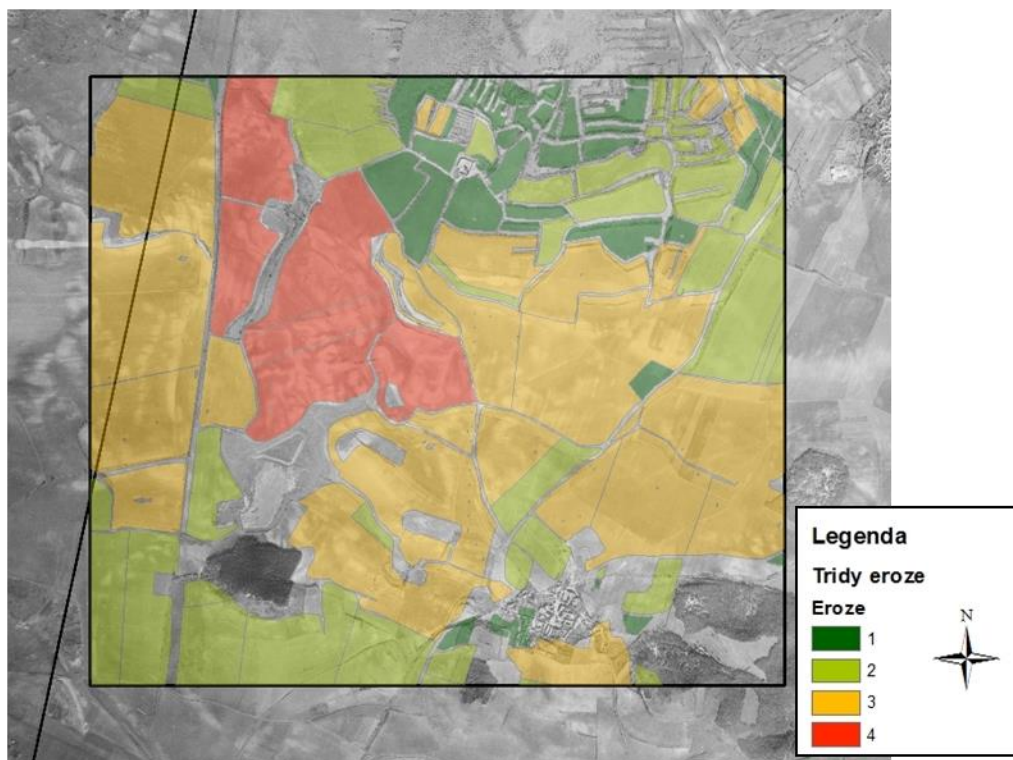
1987, 1993, 2005 a 2011 území Lounska a 1938, 1953, 1979, 1990, 2003, 2006 a 2009 území jižní Morava.

### 5.1.1 Vytvoření časové série pro vyhodnocení vhodných půdních bloků

Dalším krokem po získání leteckých snímků bylo vytvořit jejich časovou řadu a analýzu, která by monitorovala viditelnost možných erozních jevů na základě barevných odlišností. Tato analýza probíhala v prostředí ArcMap 10.1. Průběh klasifikace vhodnosti pro sledování erozních jevů popisuje obrázek 19 a jeho detail Obrázek 20.



Obrázek 19. Příklad provedené klasifikace vhodnosti snímku pro sledování erozních jevů v původním měřítku 1 : 45 000 území Lounska z roku 1964. Letecký snímek poskytl VGHMúř Dobruška, © MO ČR 2011.

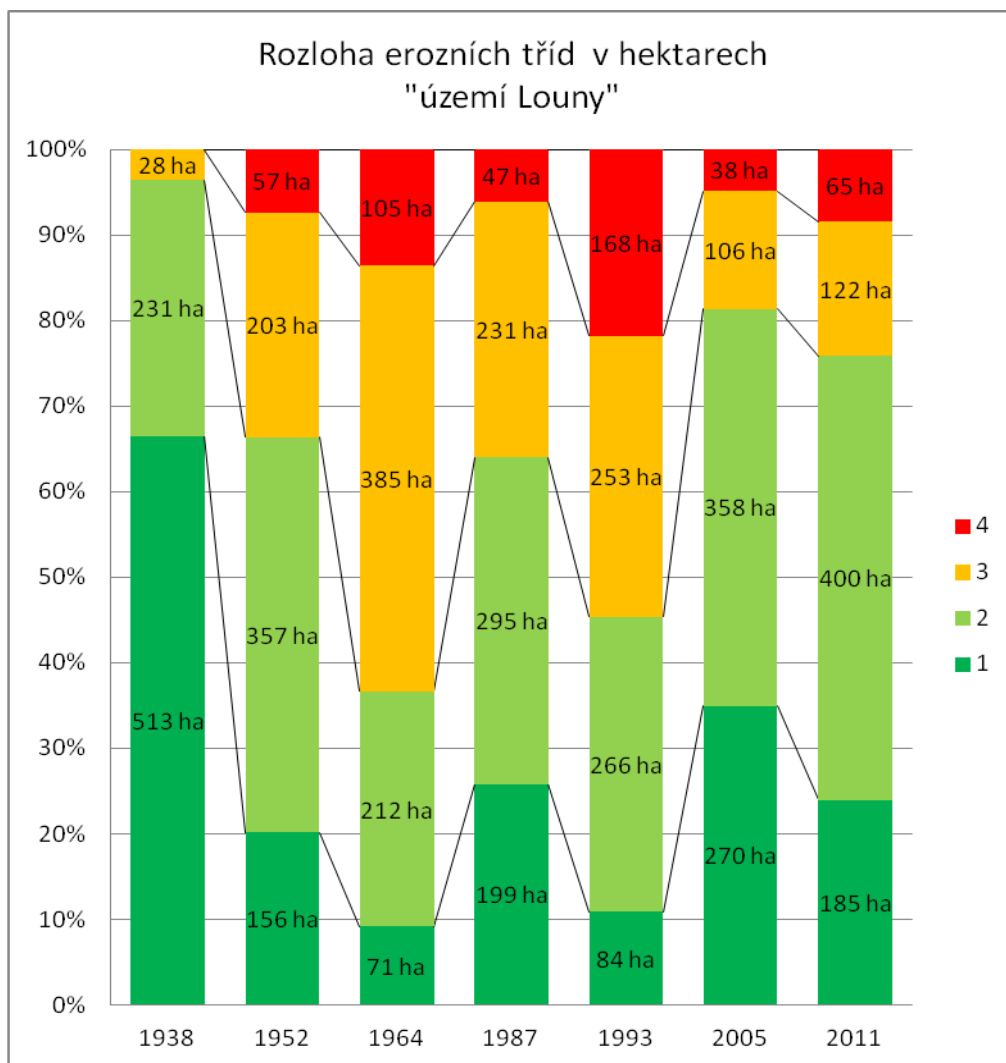


Obrázek 20. Detail provedené klasifikace vhodnosti snímku pro sledování erozních jevů v původním měřítku 1: 20 000 z roku 1964. Letecký snímek poskytl VGHMůř. Dobruška, © MO ČR 2011.

Další snímky s provedenou klasifikací erozních tříd obou území jsou umístěny jako samostatné přílohy 1 - 7.

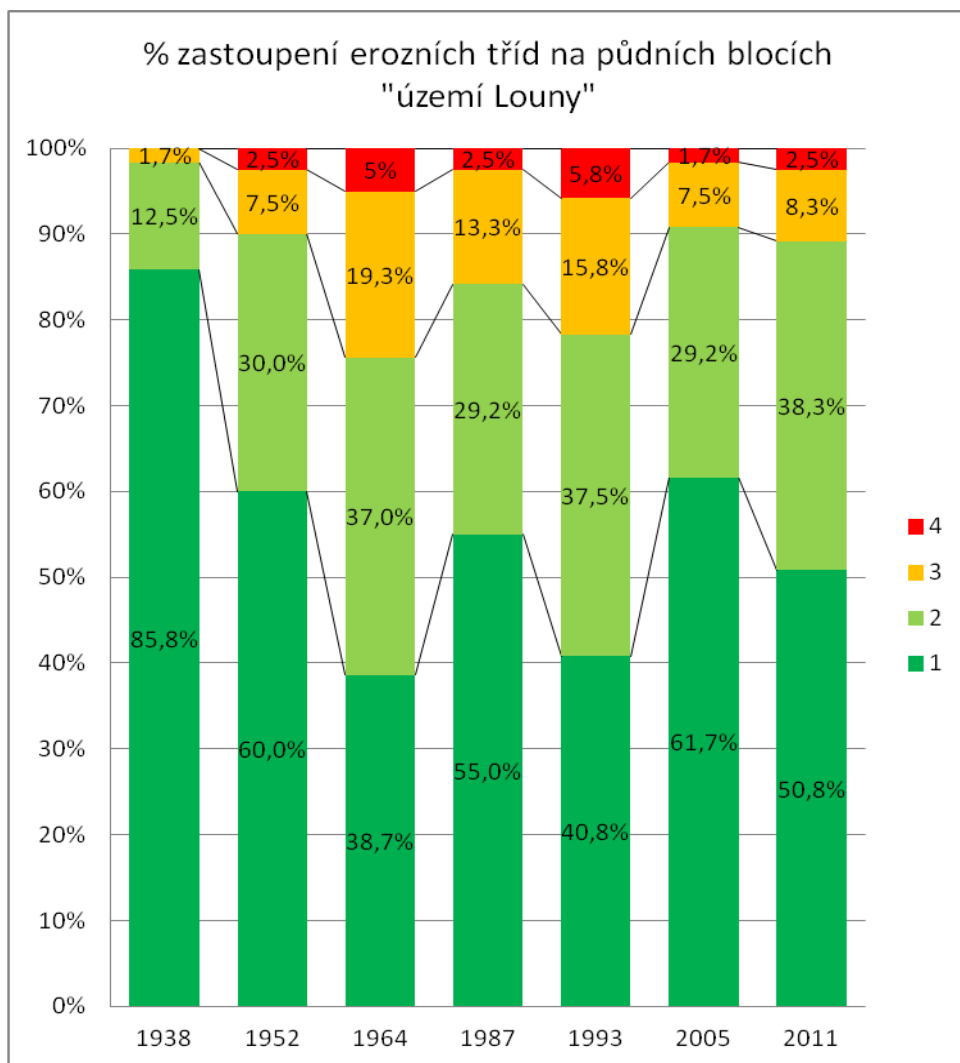
#### 5.1.1.1 Výsledky analýzy širšího území Louny

Celková rozloha sledované plochy je 772 ha. Výsledky analýzy širšího území popisují rozlohu jednotlivých tříd viditelnosti (Graf 1) a jejich zastoupení na jednotlivých půdních blocích v procentech (Graf 2.).



**Graf 1. Rozloha jednotlivých tříd možnosti sledování erozních jevů (třídy viditelnosti holého povrchu půdy podle klasifikace v kapitole 4.2.1.2 v hektarech mezi roky 1938 – 2011.**

Nejvhodnější snímek pro sledování erozních jevů z pohledu rozlohy byl z roku 1964, kde bylo možné tyto jevy identifikovat až na 490 ha sledovaného území (součet tříd 3 a 4). Jako nejméně vhodný byl vyhodnocen snímek z roku 1938, kde je možné erozní jevy zachytit pouze na 28 ha.



**Graf 2. Procentuelní zastoupení jednotlivých tříd podle půdních bloků v rozmezí let 1938 – 2011.**

Z grafů vyplývá, že sledování erozních jevů je možné na podstatně menší části půdních bloků. Nejvhodnější snímky pochází z roku 1964.

Odlišnosti zastoupení tříd v obou grafech jsou dány rozdílnou rozlohou bloku a procentem půdních bloků, kde se erozní jevy vyskytují. Pro lepší vysvětlení uvádím příklad: V případě, že má půdní blok rozlohu 100 ha, bude mít vyšší zastoupení v grafu 1, zatímco v grafu 2, bude mít menší procentuelní zastoupení, protože se jedná pouze o 1 půdní blok.

Posledním krokem analýzy bylo zjistit, překryvnost půdních bloků 3. a 4. třídy viditelnosti na základě délky období, ve které je možné erozní jevy sledovat. Časové období a rozlohu jednotlivých půdních bloků uvádí Tabulka 3.



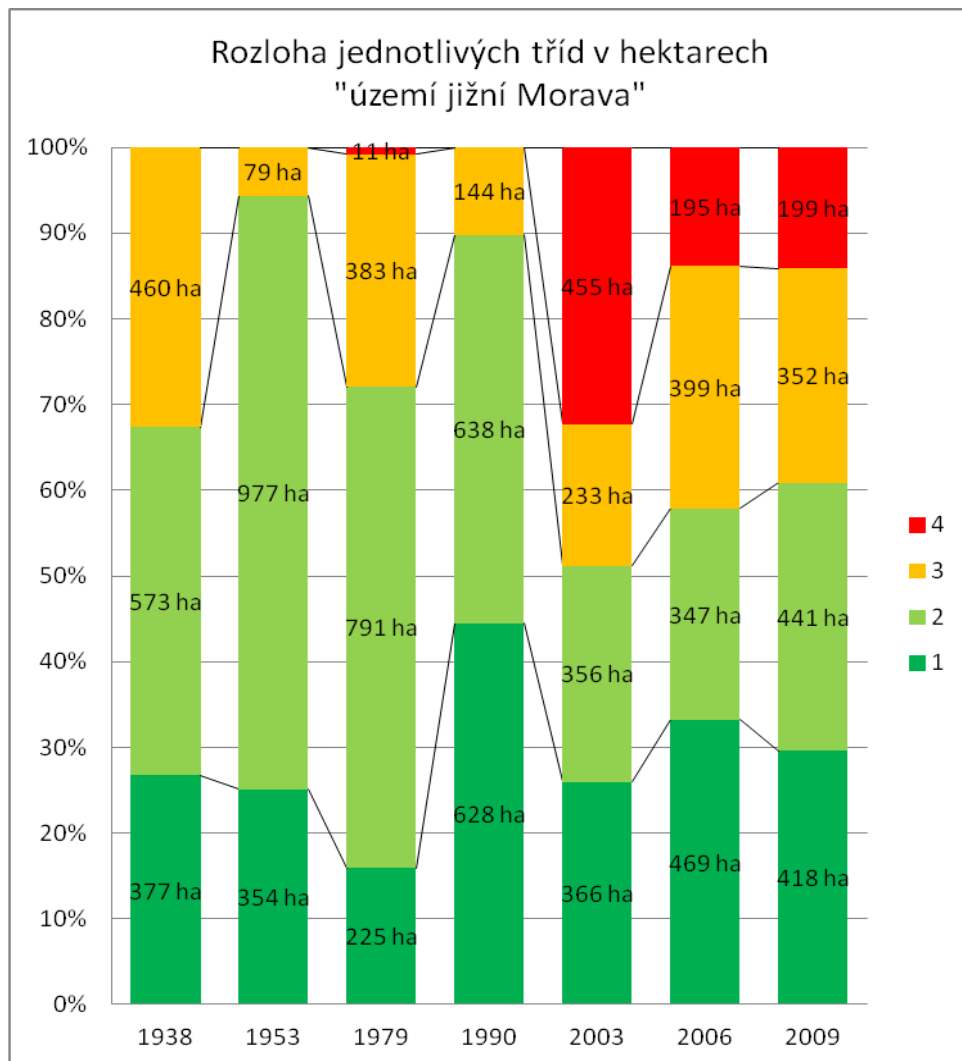
<b>Roky</b>	<b>Délka období v letech</b>	<b>Počet půdních bloků</b>	<b>Rozloha v ha</b>
<b>1938 - 2011</b>	73	1	26,5
<b>1952 - 2011</b>	59	6	117,3
<b>1952 - 2005</b>	53	5	106,1
<b>1964 - 2011</b>	47	10	152,4
<b>1952 - 1993</b>	41	7	159,5
<b>1987 - 2011</b>	24	6	104,4
<b>1993 - 2011</b>	18	10	173,5
<b>1987 - 1993</b>	6	12	215,9

Tabulka 3. Časové období, rozloha a počet půdních bloků, kde se vyskytují erozní jevy.

Nejdelší časové období, ve kterém bylo možné erozní jevy sledovat je 73 let. V rozmezí této doby, bylo možné sledovat pouze 1 půdní blok o rozloze 26,5 ha. Tento blok byl následně použit pro další hodnocení.

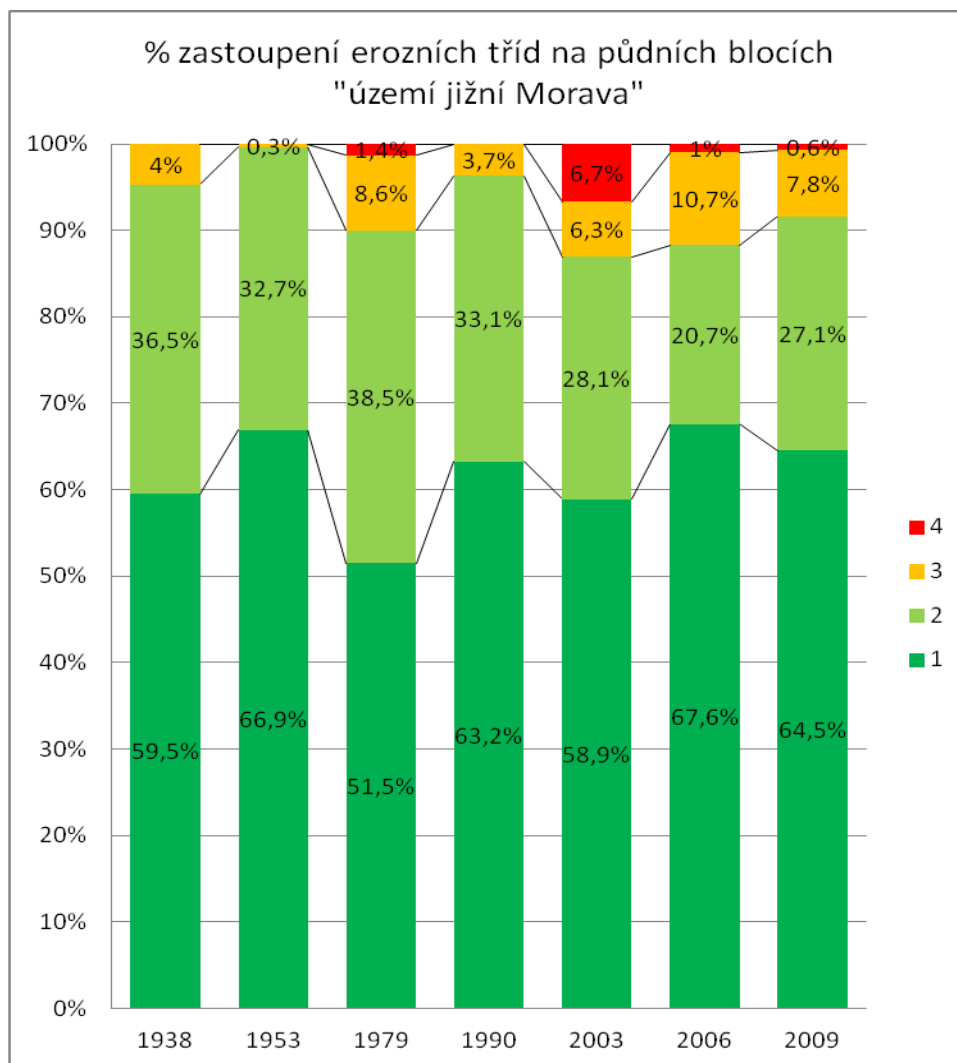
#### 5.1.1.2 Výsledky analýzy širšího území jižní Morava

Celková rozloha sledovaného území je 1410 ha. Výsledky analýzy širšího území popisují rozlohu jednotlivých tříd viditelnosti (Graf 3) a jejich procentuelní zastoupení na jednotlivých půdních blocích (Graf 4).



**Graf 3. Rozloha jednotlivých tříd možnosti sledování erozních jevů (třídy viditelnosti holého povrchu půdy podle klasifikace v kapitole 4.2.1.2 v hektarech mezi roky 1938 – 2011.**

Nejvhodnější snímky pro sledování erozních jevů pochází z roku 2003, kde je bylo možné sledovat až na 688 hektarech sledovaného území. Snímky z roku 1953 byly z tohoto pohledu nejnevhodnější, sledování erozních jevů bylo možné pouze na 79 ha plochy zájmového území.



**Graf 4. Procentuelní zastoupení jednotlivých tříd podle půdních bloků v rozmezí let 1938 – 2009.**

Nejvyšší procentuelní zastoupení půdních bloků, na kterém je možné erozní jevy sledovat pochází z roku 1979 a 1993. Zajímavé je porovnání rozlohy plochy a % zastoupení sledovaných půdních bloků, kde se oba roky výrazněji liší v rozloze, ale v % zastoupení jsou rozdíly menší. Je to dáno odlišnými plochami půdních bloků a odlišným procentuelním zastoupením jednoho bloku.

Překryvnost půdních bloků na sledovaném území se stanovila na základě délky období, ve kterých je možné erozní jevy sledovat. Tedy sledování 3. a 4. třídy viditelnosti v časové sérii. Časové období a rozlohu jednotlivých půdních bloků uvádí Tabulka 4.

<b>Rok</b>	<b>Délka období v letech</b>	<b>Počet půdních bloků</b>	<b>Rozloha v hektarech</b>
1938 - 2009	71	5	316,0
1938 - 2006	68	2	137,8
1938 - 2003	65	1	76,8
1953 - 2009	53	1	79,5
1938 - 1990	52	1	60,8
1938 - 1979	41	2	32,3
1979 - 2009	30	5	129,2
1979 - 2006	27	9	190,8
1990 - 2009	19	3	57,3
1979 - 2003	24	10	226,3
1979 - 1990	11	6	67,8
2003 - 2006	3	17	470,9
2006 - 2009	3	12	429,6

Tabulka 4. Časové období, rozloha a počet půdních bloků, kde se vyskytují erozní jevy.

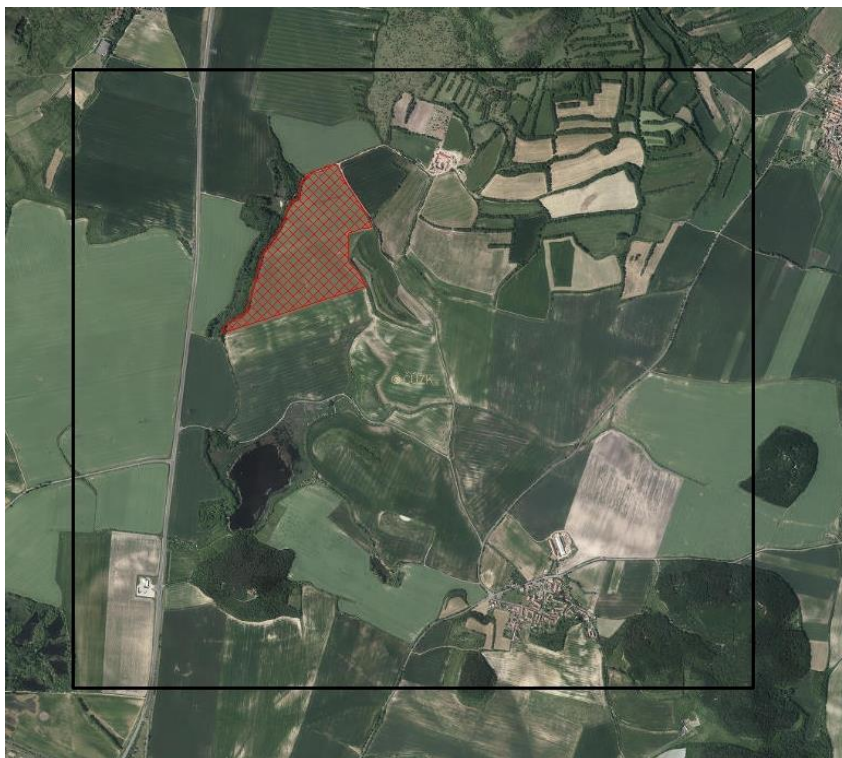
Nejdelší časové období, ve kterém bylo možné erozní jevy sledovat je 71 let. V rozmezí této doby, bylo možné sledovat pouze 5 půdních bloků o rozloze 136 ha.

#### 5.1.2 Výběr půdních bloků pro vlastní hodnocení erozních změn

Po vyhodnocení výše definované analýzy obou území byly lokalizovány vhodné půdní bloky, na kterých je možné sledovat erozní jevy v rozmezí minimálně deseti let. Kromě využití výsledků hodnocení analýzy širšího území, bylo přistoupeno k výběru půdního bloku podle kvality snímků a bližšího prozkoumání vhodného půdního bloku.

### 5.1.2.1 Vhodný půdní blok- území Louny

Z širšího území Louny byl pro bližší hodnocení zvolen půdní blok o rozloze 26,5 ha (Obrázek 21), na kterém je možné sledovat erozní jevy v rozmezí 73 let (1938 – 2009).



**Obrázek 21. Letecký snímek zájmového území s označením zvoleného půdního bloku v původním měřítku 1 : 20 000 z roku 2013. Letecký snímek poskytl © 2015 ČÚZK.**

### 5.1.2.2 Vhodný půdní blok – území jižní Morava

Z území jižní Morava byl jako nejvhodnější zvolen půdní blok o rozloze 20,5 ha (Obrázek 22), na kterém je možné sledovat erozní jevy v rozmezí 24 let (1979 – 2003).



Obrázek 22. Letecký snímek zájmového území s označením zvoleného půdního bloku v původním měřítku 1 : 25 000. Letecký snímek poskytl © 2015 ČÚZK.

### 5.1.3 Vyhodnocení vztahu barvy půdy a míry eroze / obsahu organických látek

Vyhodnocení vztahu barvy půdy a obsahu organických látek bylo provedeno pomocí vyfotografování vzorků s tabulkou barevnosti a šedé stupnice. Aby bylo dosaženo minimálních odlišností světelných podmínek, byly vzorky snímány hromadně za přímého slunečního záření.

### 5.1.3.1 Území Louny

Na sledovaném půdním bloku byl naměřen obsah humusu v rozmezí 0,25 až 3,6% (Tabulka 5).

VZOREK	C <sub>ox</sub> (%)	HUMUS (%)
BM 1	0,84	1,44
BM 2	1,54	2,65
BM 3	1,40	2,41
BM 4	0,15	0,25
BM 5	1,74	3
BM 6	1,95	3,36
BM 7	1,97	3,39
BM 8	1,59	2,75
BM 9	1,12	19,94
BM 10	1,32	2,27
BM 11	2,09	3,6

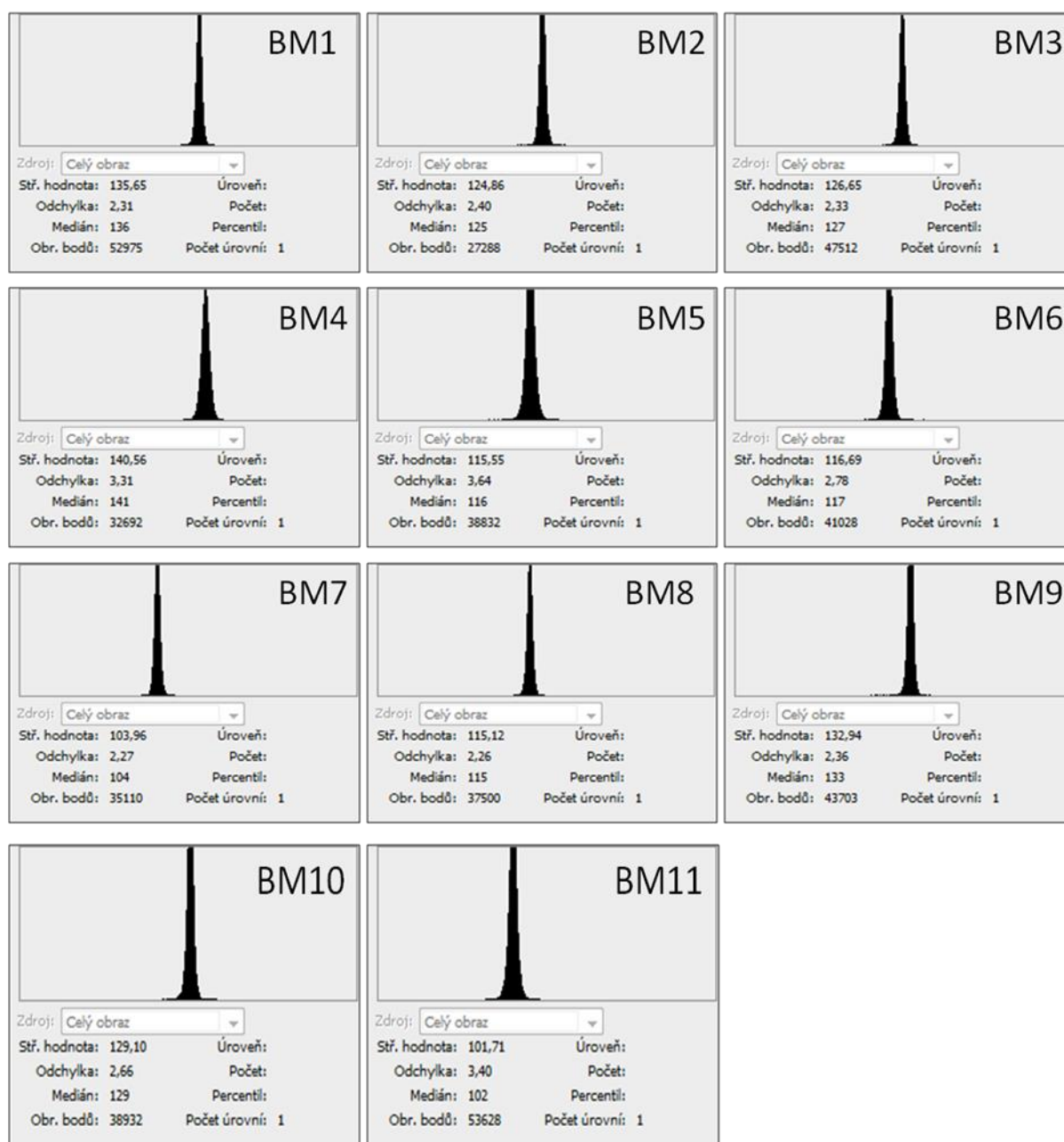
Tabulka 5. Výsledky laboratorních měření.

Nejnižší obsah organických látek byl naměřen ve vzorku BM 4 (0,25 %) reprezentující exponovanou část pole, kde došlo k největšímu smyvu ornice. Je zde vyoraný substrát (slín). Nejvyšší obsah organických látek byl zjištěn u vzorku BM 11 (3,6 %) na místě nezasaženém erozí.



Obrázek 23. Fotografie vzorků, na kterých byly měřeny hodnoty RGB

Fotografii zachycující barevné odlišnosti vzorků znázorňuje Obrázek 23. Ze všech nasnímaných vzorků byly vytvořeny histogramy, které sloužily pro vyhodnocení barevné analýzy jednotlivých vzorků. Histogramy uvádějí střední hodnotu RGB (Obrázek 24), která dosahovala hodnot od 101,71 - 140,56 (nejtmavší po nejsvětlejší).



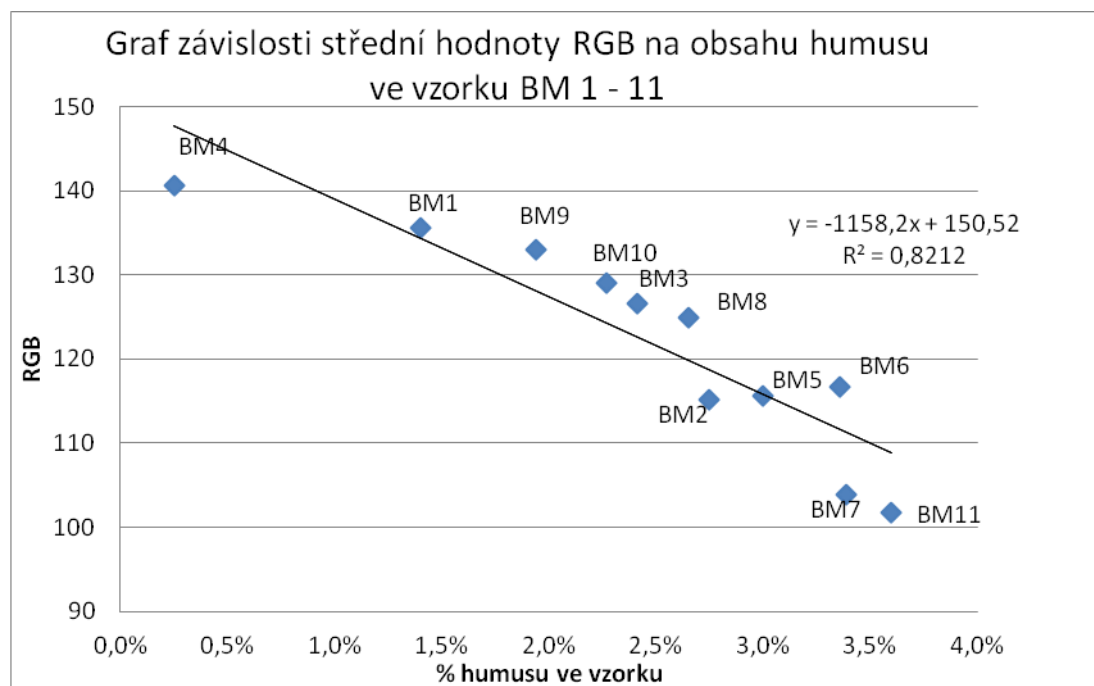
Obrázek 24. Histogramy vzorků BM 1 – BM 11, popisující střední hodnoty RGB.



Pro lepší přehlednost byla vytvořena Tabulka 6 s obsahem humusu a středními hodnotami RGB.

Vzorek	Humusu (%)	RGB
BM1	1,40%	135,65
BM2	2,65%	124,86
BM3	2,41%	126,65
BM4	0,25%	140,56
BM5	3%	115,55
BM6	3,36%	116,69
BM7	3,39%	103,96
BM8	2,8%	115,12
BM9	1,94%	132,94
BM10	2,27%	129,10
BM11	3,60%	101,71

Tabulka 6. Hodnoty humusových látek a střední hodnoty RGB.



Graf 5. Závislost hodnot RGB a obsahu humusových látek.

Závislost mezi hodnotami RGB a obsahem organických látek je zachycena v Grafu 5. Z výsledků vyplývá, že s klesající hodnotou střední hodnoty RGB, stoupá procentuelní zastoupení obsahu organických látek. Koeficient determinace je roven 0,82, značí tedy poměrně těsnou korelaci. Toto pravidlo ovšem některé vzorky nepotvrzují (BM 5 a BM 6).

Mohlo tedy dojít k následujícím chybám: procentuelní zastoupení organických látek bylo špatně změřeno v laboratorních měřeních nebo došlo ke zkreslení světelných podmínek při snímkování a tím k vyšší střední hodnotě RGB.

### 5.1.3.2 Území jižní Morava

Na sledovaném půdním bloku byly naměřeny hodnoty obsah humusu v rozmezí 0,82 až 2,56 % (Tabulka 7).

Vzorek	C <sub>ox</sub> (%)	Humus (%)
1	1,47	2,56
2	1,27	2,21
3	1,07	1,86
4	0,87	1,51
5	0,67	1,17
6	0,47	0,82

Tabulka 7. Obsah Cox a organických látek.

Nejnižší obsah organických látek byl naměřen ve vzorku 6 (0,82 %), který představuje tu část půdního bloku, kde došlo k největšímu smyvu orniční vrstvy. Nejvyšší obsah organických látek byl zjištěn u vzorku 1 (2,56 %), tedy místě nezasaženém erozí.

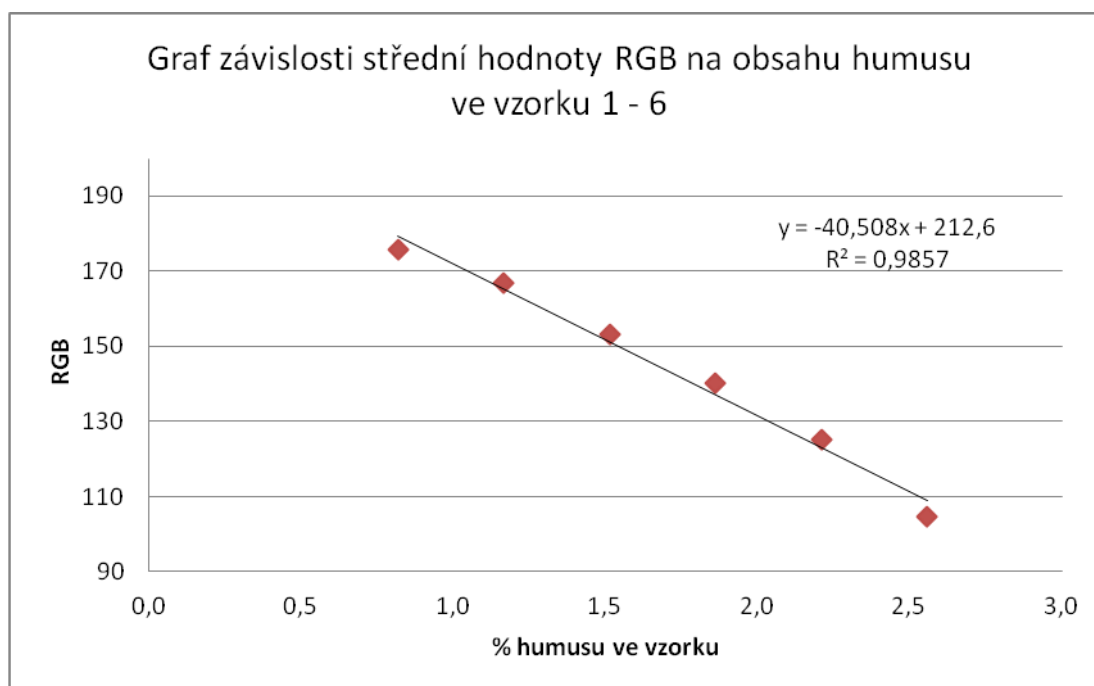


Obrázek 25. Fotografie vzorků, ze které byly měřeny střední hodnoty RGB.

Obrázek 25 zachycuje nasnímané vzorky, které sloužily pro vyhodnocení barevné analýzy. Následně byly změřeny střední hodnoty RGB pro každý vzorek (Tabulka 8). Střední hodnoty dosahovaly velikosti 104,69 - 175,69 (nejtmavší po nejsvětější).

Vzorek	Humus (%)	RGB
1	2,56	104,69
2	2,21	125,06
3	1,86	140,07
4	1,51	153,03
5	1,17	166,87
6	0,82	175,69

Tabulka 8. Hodnoty humusových látek a střední hodnoty RGB.



Graf 6. Závislost hodnot RGB a obsahu humusových látek.

Závislost mezi hodnotami RGB a obsahem organických látek je zachycena v Grafu 6. Z výsledků vyplývá, že s rostoucí hodnotou organických látek, klesají střední hodnoty RGB. Koeficient determinace je roven 0,99, značí tedy velmi těsnou korelaci. Nedošlo tedy k výrazným chybám v měřeních, jako u výsledku barevné analýzy v zájmovém území Lounsko.

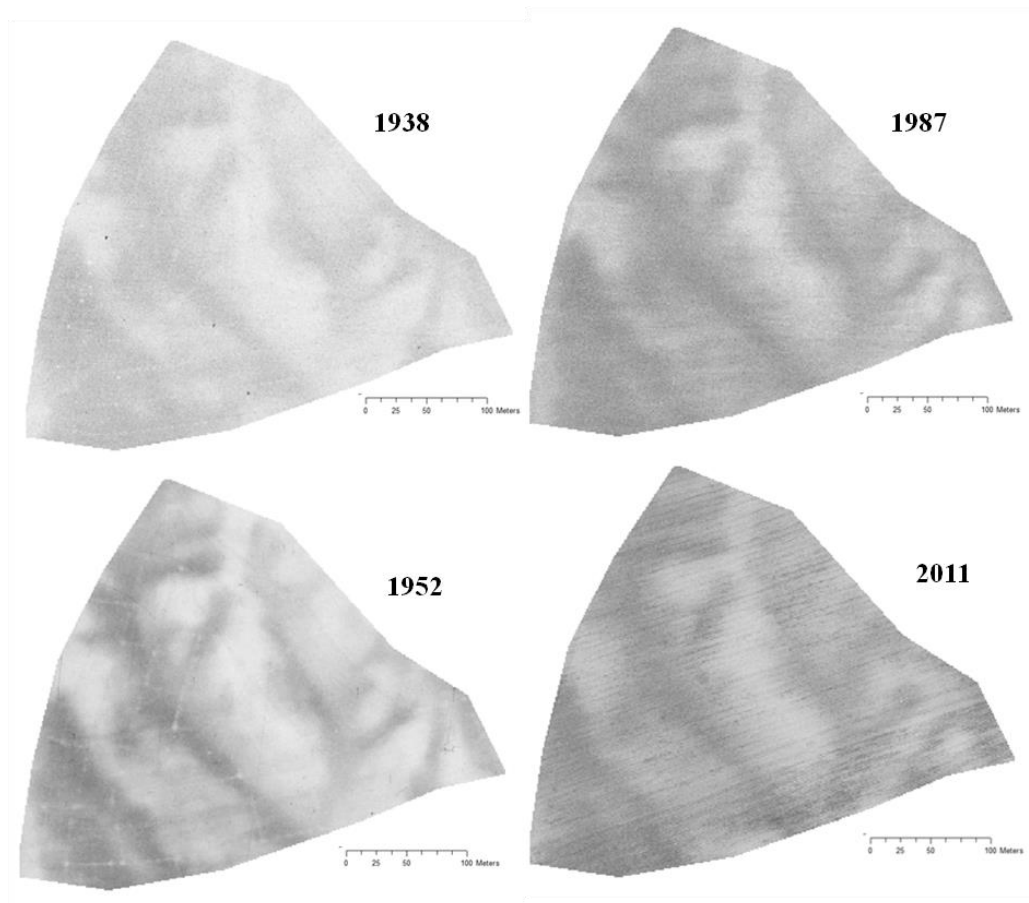
#### 5.1.4 Změna erozních projevů v čase (klasifikace leteckých snímků)

Pro zhodnocení změn erozních projevů v čase byly zvoleny časové série snímkování z různých období. Analýza půdního bloku v lokalitě Louny probíhala na základě snímků z let: 1938, 1952, 1987 a 2011. Hodnocení půdního bloku na území jižní Morava probíhalo na základě snímků z let 1979 a 2003.

U většiny výřezů leteckých snímků daného půdního bloku, se vyskytují extrémní hodnoty RGB dané horší kvalitou snímku (bodové poškození, poškození negativu,...), která zkreslují data normalizace. Proto byly extrémní hodnoty z analýzy vyjmuty a nebylo k nim přihlíženo.

##### 5.1.4.1 Území Louny

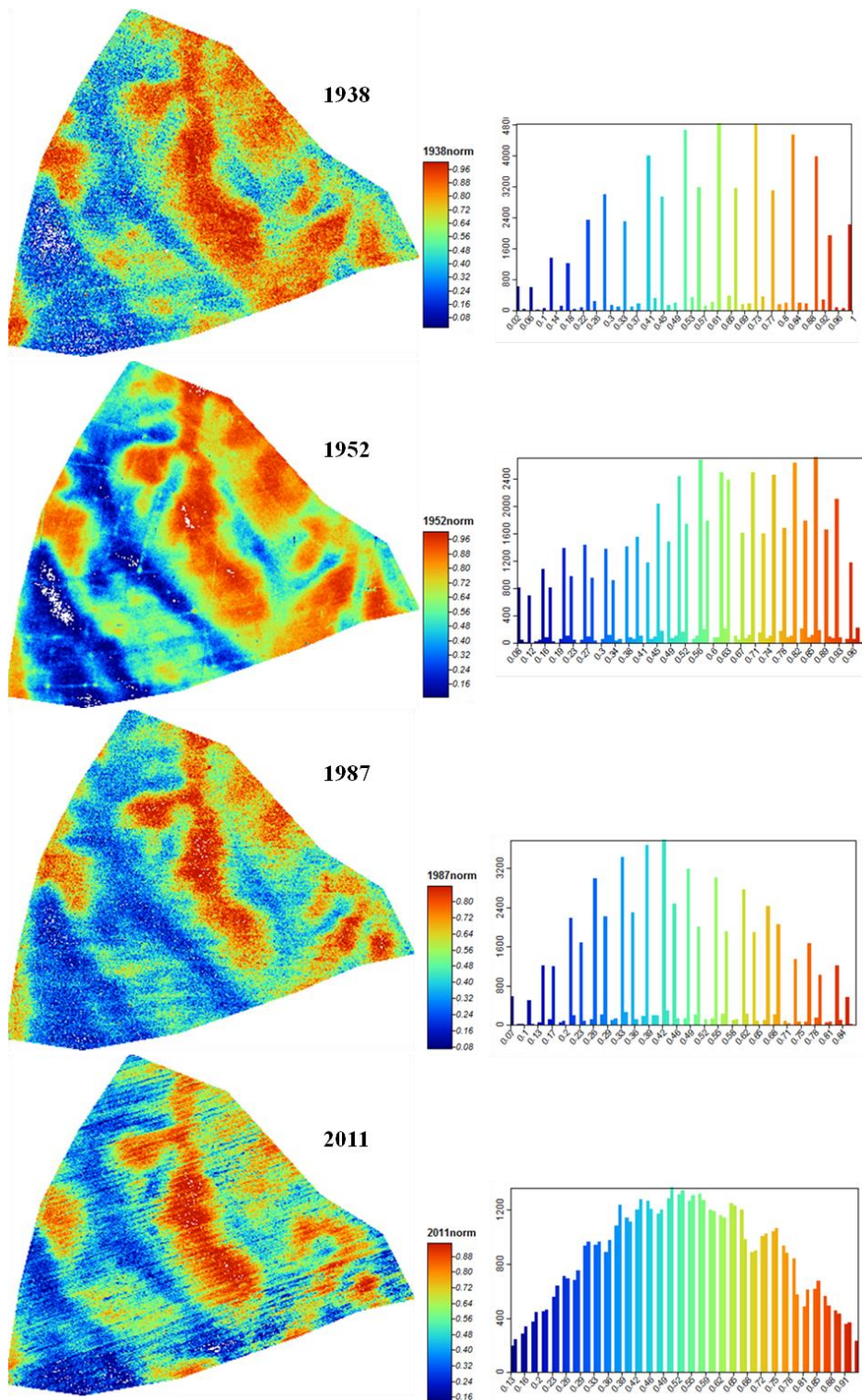
(Obrázek 26) znázorňuje výřezy leteckých snímků z let 1938, 1952, 1987 a 2011 před normalizací dat. Je patrný výrazný barevný posun mezi jednotlivými snímky.



Obrázek 26. Výřezy leteckých snímků z let 1938, 1952, 1987 a 2011 před normalizací dat.

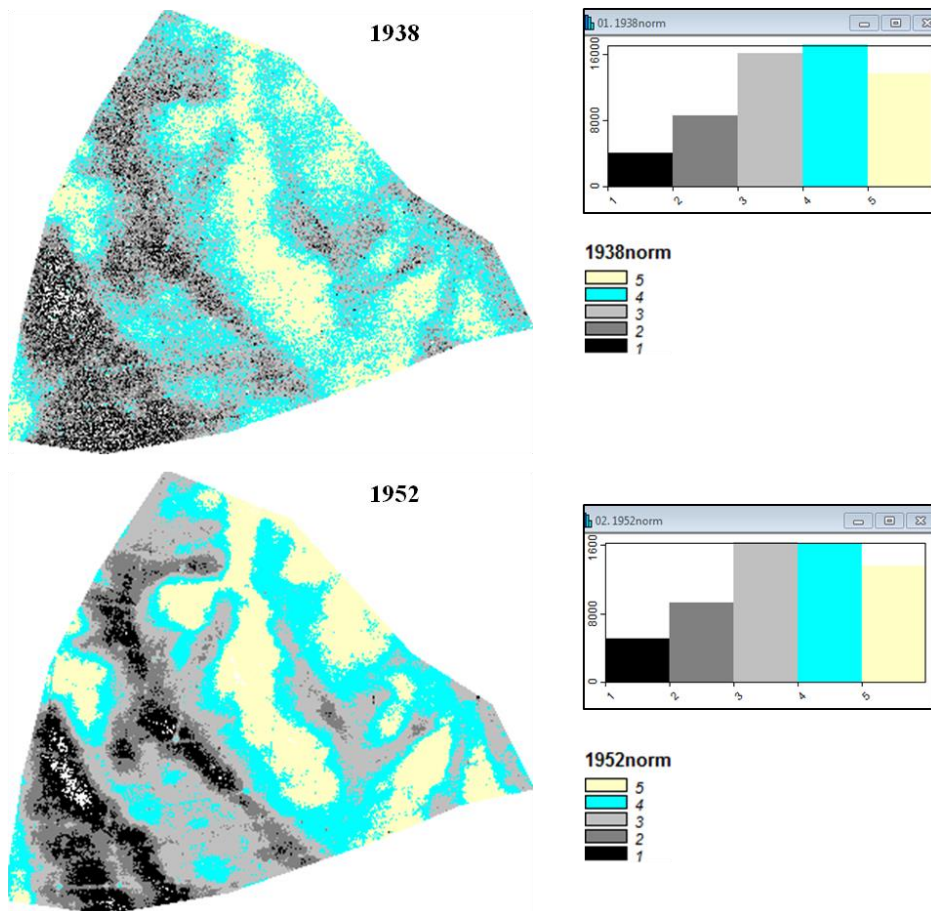
Z tohoto důvodu byla provedena normalizace snímků do hodnot 0 - 1 (Obrázek 27). Snímky vykazují výraznou barevnou vyrovnanost. Zároveň došlo ke zvýraznění rozdílů mezi

tmavými odstíny - místa, kde nedošlo ke smyvu humusového horizontu (modrá barva) do nejsvětlejších odstínů (červená barva) - zcela erodovaná plocha. Zastoupení hodnot, popisujících pro bližší upřesnění i histogramy. Rozdíly hodnot jednotlivých dat v histogramech mohou být způsobeny odlišnou kvalitou snímku, stářím snímkování (starší snímky bývají zpravidla světlejší), odlišnosti barevných hodnot jsou nejlépe vidět na histogramu z roku 1938.

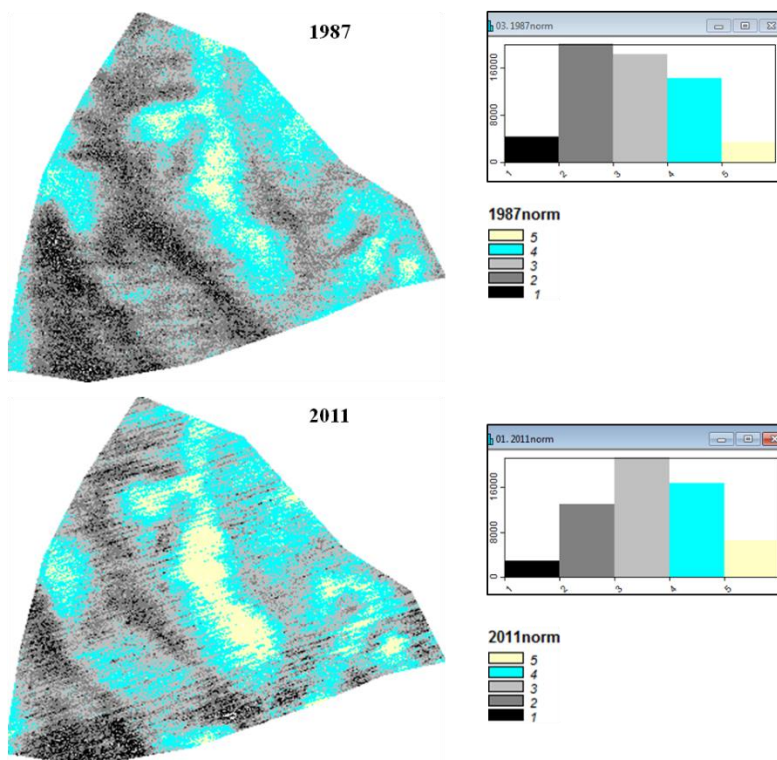


Obrázek 27. Normalizované výřezy leteckých snímků z let 1938, 1952, 1987 a 2011 s histogramy.

Dalším krokem hodnocení erodovaných míst bylo rozdělení normalizovaných dat do 5 skupin s různým stupněm eroze (a tím souvisejícím obsahem humusových látek), které kvantifikují výskyt světlých a tmavých míst na sledovaném území (Obrázek 28 a 29). Toto hodnocení proběhlo v programu SAGA, prostřednictvím kterého byly hodnoty 0 - 1 rozděleny na 5 stejně širokých intervalů (1- nejtmavší, po 5 - nejsvětlejší) viz. kapitola 4.2.2.



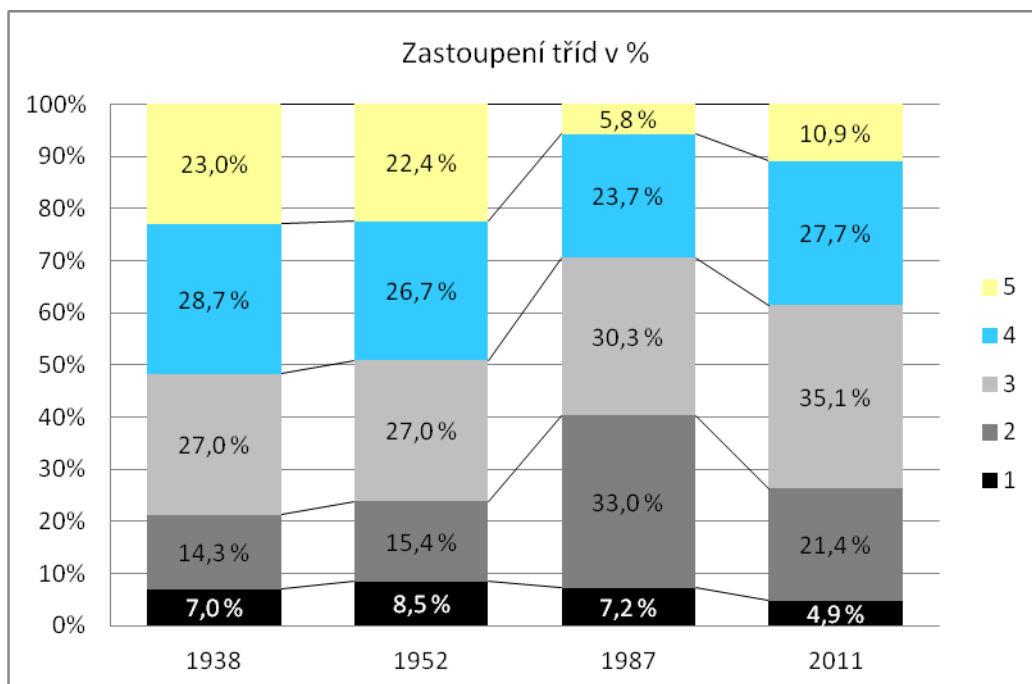
Obrázek 28. Výřezy leteckých snímků z roku 1938 a 1952 s provedenou klasifikací.



Obrázek 29. Výřezy leteckých snímků z roku 1987 a 2011 s provedenou klasifikací.

Na základě provedeného hodnocení jednotlivých tříd, lze konstatovat, že nejnižší obsah organických látek (nejtmavší třída 1) je na nejnovějším snímku roku 2011.

Pro lepší přehlednost byla získaná data exportována do sloupcového grafu 7, který popisuje procentuelní zastoupení tříd v jednotlivých rocích sledování.



**Graf 7. Procentuelní vyjádření jednotlivých tříd ve všech letech hodnocení.**

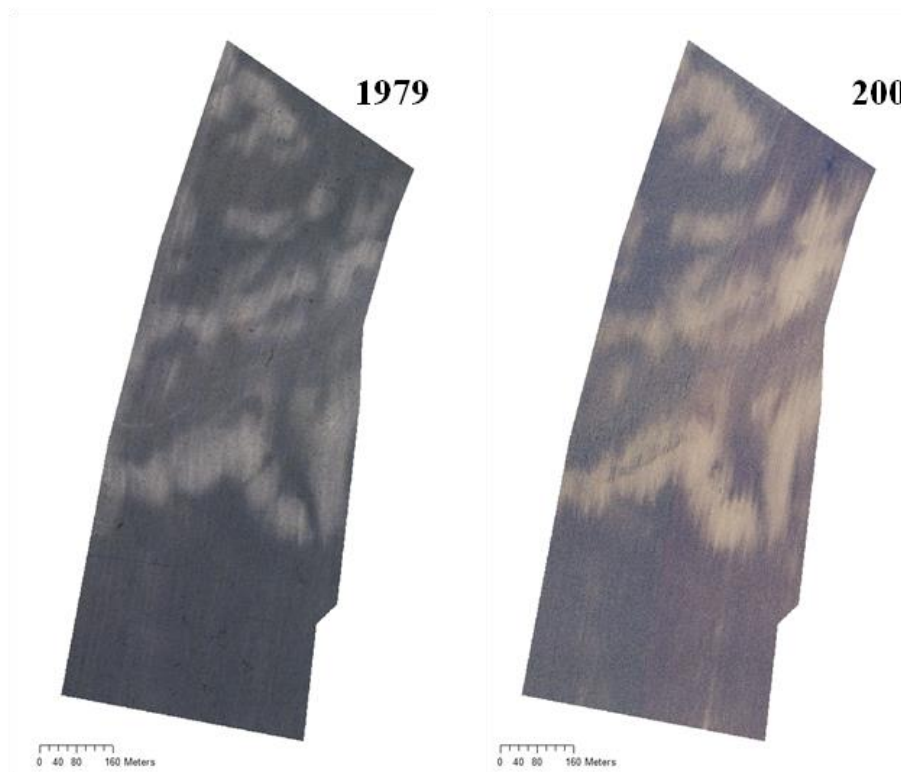
Z chronologického pohledu můžeme sledovat nejvyšší rozdíly mezi roky 1952 a 1987, kdy dojde k velkému nárůstu 2. třídy (z 15,4 na 33 %), oproti tomu dojde k výraznému poklesu zastoupení třídy 5 (z 22,4 na 5,8 %). Tento rozdíl může způsobovat několik faktorů. Mohlo dojít k chybné normalizaci snímků z důvodů odlišné kvality snímků (snímky z roku 1938 a 1952 jsou foceny v největších měřítcích 1 : 20 000 resp. 1 : 25 000, zatímco snímky z roku 1987 a 2011 mají měřítko 1 : 7490 resp. 1 : 5 000), což značně zhoršuje kvalitu zobrazení starších snímků.

Dalším faktorem může být značně rozdílný způsob hospodaření mezi roky 1938 - 1952 a 1987 - 2011. Ve dřívějších letech nebylo možné využívat mechanizaci v tak velké míře, proto jsou rozdíly mezi světlými a tmavými místy výraznější. Postupem doby se začalo využívat větších zemědělských strojů a to mohlo způsobit snížení rozdílů mezi světlými a tmavými místy.



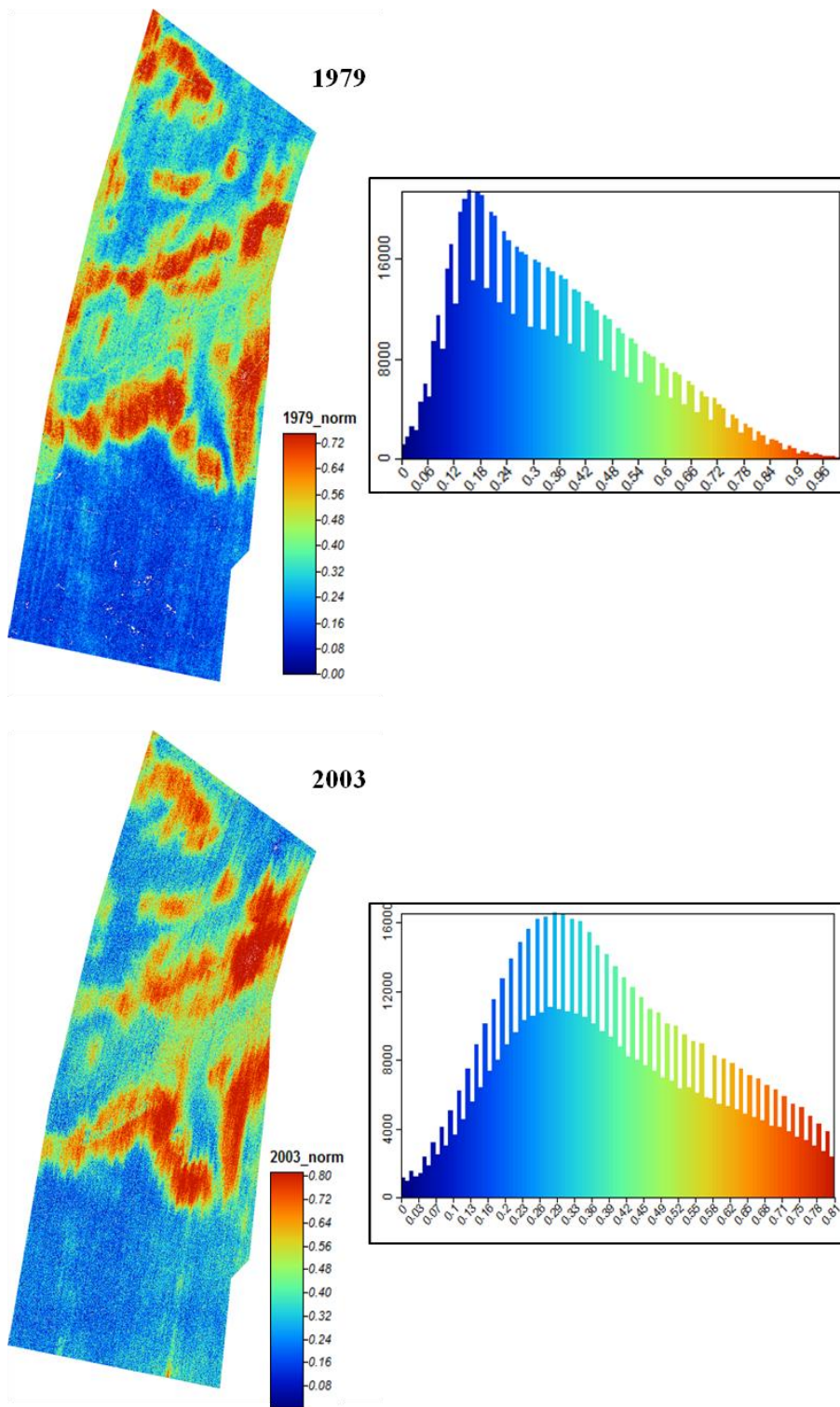
#### 5.1.4.2 Území jižní Morava

Obrázek 30 znázorňuje výřezy leteckých snímků z let 1979 a 2003 před normalizací dat.



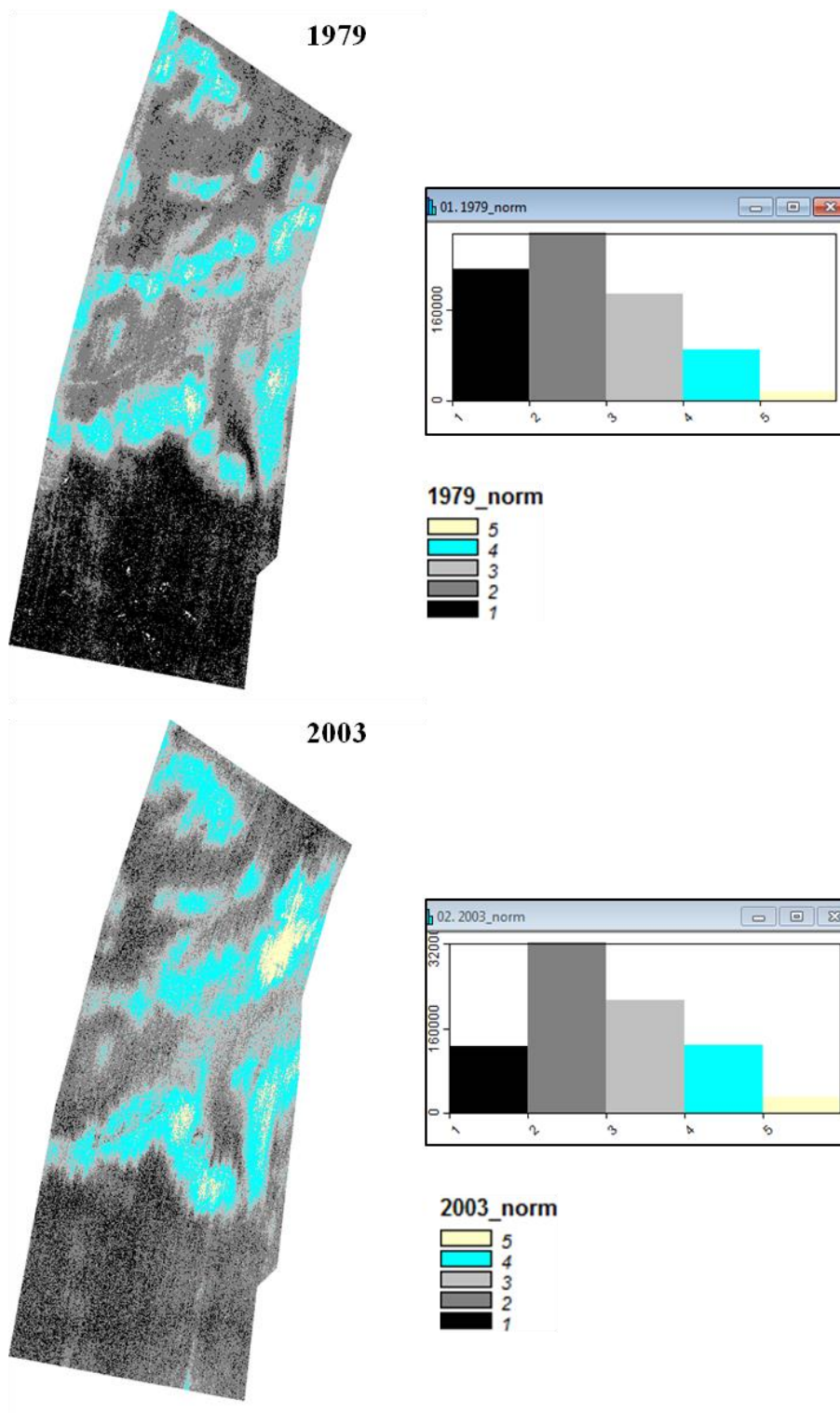
Obrázek 30. Výřezy leteckých snímků z let 1979 a 2003 před normalizací dat.

Na zvoleném půdním bloku byla provedena normalizace dat do hodnot 0 - 1 z obou vzorků snímkování (Obrázek 31). Hodnoty blíží se 0 (modrá barva) označují nejtmaší odstíny půdního pokryvu, zatímco hodnoty blíží se 1 označují nejsvětější místa (červená barva), tedy erodovanou plochu. Pro lepší popis rozložení dat jsou k výřezům půdních bloků přiřazeny histogramy.



Obrázek 31. Normalizované výřezy leteckých snímků z let 1979 a 2003 s histogramy.

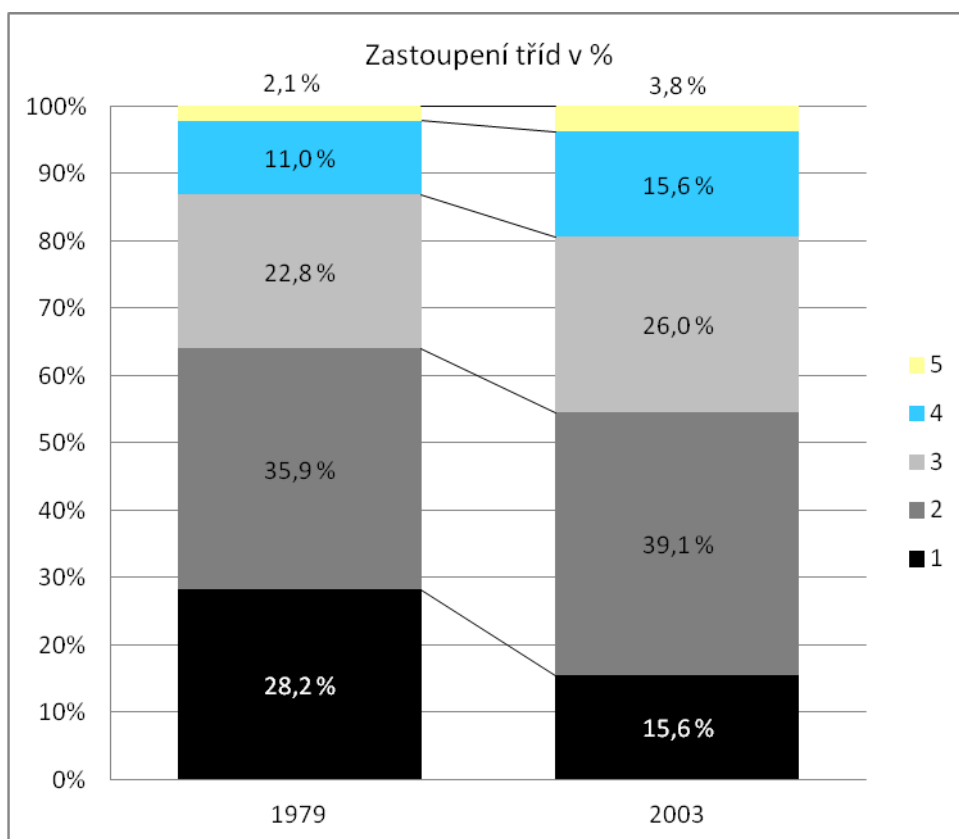
Následně byla normalizovaná data 0 - 1 rozdělena do 5 skupin o stejných intervalech s různým stupněm tmavosti, které kvantifikují výskyt světlých a tmavých míst na sledovaném území (Obrázek 32 ). Třídy jsou rozděleny od 1 - nejtmavší, po 5 - nejsvětější, viz. kapitola 4.2.2.



Obrázek 32. Výřezy leteckých snímků z roku 1979 a 2003 s provedenou klasifikací.

Na základě zjištěných dat pro hodnocení jednotlivých tříd, lze konstatovat, že nižší obsah organických látek (nejtmavší třída 1) je na snímku z roku 2003.

Pro lepší přehlednost byla získaná data exportována do sloupcového grafu 8, který popisuje procentuální zastoupení tříd v jednotlivých rocích sledování.



**Graf 8. Zastoupení jednotlivých tříd na území jižní Morava.**

V zastoupení jednotlivých tříd na území jižní Morava můžeme sledovat nejvyšší rozdíly v zastoupení třídy 1 (z 28,2 na 15,6 %). Tento rozdíl může být způsoben posunutím hranice třídy 1 v histogramu po normalizaci dat z roku 2003. Rovněž mohlo dojít ke zkreslení dat z důvodu odlišných měřítek leteckých snímků (měřítko snímků z roku 1979 bylo 1 : 20 180, měřítko snímků z roku 2003 bylo 1 : 5 000). Ostatní třídy vykazují stoupající hodnoty v čase, které odpovídají předpovědi o vývoji degradace půdy obecně.

## 6 Diskuse

K hodnocení vývoje erozních jevů byly vybrány dvě širší zájmová území. První území se nachází v okrese Louny ve, druhé území se nachází v okrese Břeclav na Jižní Moravě. Pro hodnocení bylo získáno celkem 185 leteckých snímků, ze kterých byly vytvořeny časové série dlouhé až 73 let v rozmezí let 1938 - 2013 resp. 1938 - 2014. To je podstatně delší období, než ve své studii využili Betts a DeRose (1999), kteří využívali časové série leteckých snímků v délce 14 - 32 let pro svou studii na Novém Zélandu nebo (Daba et al., 2003), kteří využili pro své studie na území Etiopie snímky v rozmezí 31 let.

Přestože existují historické letecké snímky pro takto dlouhé období, je možnost hodnocení změn eroze silně omezeno faktem, že se snímkování provádělo především v období jarních a letních měsíců s převažujícím vegetačním pokryvem.

Z takto omezené série pak můžeme identifikovat půdní bloky, které jsou erozí skutečně ohroženy. Výsledky analýzy vybraných zájmových území o rozloze 772 ha (Lounsko) a 1410 ha (Jižní Morava) ukazují, že v ideálním případě můžeme sledovat vývoj erozních procesů až na 63,4 % respektive 48,8 % zemědělské plochy sledovaného území.

Rozsah vhodných ploch bez vegetace však mezi jednotlivými roky výrazně kolísá, v některých letech je možné tyto jevy zachytit jen na malém zlomku území (3,6 % území Lounsko) a (5,6 % území jižní Morava) zemědělské půdy. Načasování snímání leteckých snímků je tak klíčovým faktorem, který ovlivňuje možnost analýzy barevných změn povrchových horizontů půdy. Faktor vegetačního pokryvu je významný u metod sledování eroze pomocí barevných změn povrchu půdy, ale nijak výrazně neomezuje sledování erozních jevů na základě změn povrchu (Betts a DeRose, 1999).

Z vyhodnocení širších území byly zvoleny dva vhodné zemědělské pozemky, které byly podrobněji zkoumány.

Z území Lounsko, byl zvolen půdní blok (Obrázek 26), kde byly erozní jevy sledovatelné v nejdélším možném časovém období (73 let). Výhodou tohoto pozemku je existence snímků ze čtyř let, kdy je pozemek zachycen bez vegetace (1938, 1952, 1987 a 2011). Sledování vývoje erozních jevů na pozemku v rámci širšího území jižní Moravy je založeno na podstatně kratší časové periodě dlouhé pouze 24 let (snímky z let 1979 a 2003). Nalezení delšího časového období nebylo možné. Tento fakt je dán dvěma faktory. Letecký snímek z roku 1938 zobrazuje lokalitu ještě v období, kdy je zemědělská půda rozdrobena do velmi úzkých řemenových polí a různým stupněm vývoje vegetace a je tedy v podstatě nepoužitelný. S podobnými problémy, které se vyskytují na celém širším území se potýkali ve

své práci i Šarapatka et Netopil (2009). Druhým faktorem je nízká technická kvalita poválečných snímků z období třicátých až padesátých let.

Při sledování vazby, barva půdy a obsah organických látek, který slouží jako indikátor eroze půdy, byl použit vztah střední hodnoty RGB a obsah humusu v půdě. Model RGB byl vybrán pro svou jednoduchost při analýzách v prostředí GIS a DPZ bez nutnosti převodu do jiných barevných modelů, které se pro podobné výzkumy používají (Šarapatka et Netopil, 2009 a Viscarra et al, 2006). Pro popis závislosti modelu RGB na obsahu humusu byly na zájmových lokalitách zvoleny dva odlišné přístupy, které dosáhly podobných výsledků.

Z půdního bloku území Lounsko bylo odebráno 11 půdních vzorků v různých místech pozemku s ohledem na míru degradace půdy. Na území jižní Morava byl odebrán vzorek z černického horizontu neerodované černozemě a vzorek půdotvorného substrátu (spraše). Jejich poměrným smícháním byla vytvořena šestistupňová škála. Laboratorní analýzy vzorků potvrzují hypotézu, že s rostoucím obsahem humusových látek dosahuje barva půdy tmavších odstínů (nižší hodnoty RGB). Tuto hypotézu potvrzuje většina vzorků, některé ovšem z tohoto měření vybočují. Jedná se o dva vzorky ze sledovaného území Lounsko (Tabulka 6), kde mohlo dojít k chybám v laboratorním měření nebo ke zkreslení světelných podmínek (středních hodnot RGB) při fotografování. V obou případech byla nalezena silná až velmi silná závislost mezi střední hodnotou RGB a obsahem humusu. V práci tedy byly potvrzeny výsledky jiných studií (např. Visscara et al., 2006).

Vlastní analýzu leteckých snímků popisující barevné změny na vybraných pozemcích ovlivňuje několik faktorů. Obecně můžeme konstatovat, že na obou územích můžeme sledovat změny velikosti a tvarů ploch s erodovanými místy, projevující se světlou barvou. Ta je způsobena vyoráváním půdního substrátu. Ke stejným výsledkům dospěl i Fulajtár (1994), který popisuje výskyt tmavších a světlejších míst na snímcích, tedy odkrývání spodních půdních horizontů. Série snímků zřetelně ukazuje na rozvoj nejvíce erodovaných ploch ve sledovaných obdobích. Vlastní kvantitativní analýzu ovlivňuje kvalita snímků z jednotlivých období.

Z hodnocení sledovaného území Lounska můžeme nesrovnalosti ve výsledcích posuzovat z několika pohledů. Při porovnávání hodnot došlo k vysokému rozdílu mezi staršími snímky (1938 a 1952) a novějšími snímky (1987 a 2011). Tyto rozdíly může způsobovat hlavně odlišná kvalita snímků. Při normalizaci dat mohlo dojít k posunutí intervalů mezi jednotlivými třídami a tím i ke zvýšení rozdílů. Tento jev je sledovatelný zejména v grafu 7, kde došlo k nejvýraznějším změnám procentuálního zastoupení tříd mezi roky 1952 a 1987. Z odlišného pohledu hodnocení je třeba si uvědomit, že systém

hospodaření se za sledované období značně změnil. Po roce 1948 došlo ke kolektivizaci zemědělství a k používání těžší mechanizace. Proto je možné, že mohlo dojít k přemístování většího objemu půdní masy a tím k rozptýlení humusového horizontu A a jeho promísením s erodovanými plochami sledovaného území. To může vysvětlovat značný rozdíl mezi nejsvětějšími částmi (třída 5). Mnohem pravděpodobněji se ovšem jeví zkreslení dat při normalizaci snímků.

U hodnocení půdního bloku Jižní Morava mezi roky 1979 a 2003 se značné rozdíly vyskytují především u hodnocení třídy 1 (nejtmavší neerodované plochy), kde došlo k významnému poklesu v čase. Tento jev může být rovněž způsoben normalizací dat, kdy došlo k posunutí intervalu mezi jednotlivými třídami. Další výsledky vypovídají, že dochází k pozvolnému nárůstu světlejších (erodovaných) ploch. Úbytek tmavých ploch je patrný také v koluviálních částech území, kde dochází k sedimentaci erodovaného materiálu. Současný koluviální materiál je směsí horizontu A a C a je tedy relativně světlý. Stejný jev, kdy dojde k mísení humusového horizontu s vyoraným substrátem, může způsobovat i eroze orbou. To je patrné ze snímku půdního bloku z roku 2003 (Obrázku 30), kde jsou zřetelně viditelné „zuby“ vytvořené ve směru orby.

## 7 Závěr

- Je možné získat široké spektrum leteckých snímků od roku 1938 až po současnost, podle kterých můžeme sledovat vývoj eroze v čase. Problémem však může být identifikace erodovaných míst z důvodů pokrytí území vegetací nebo horší kvalita starších leteckých snímků.
- Ke zkoumání barvy půdy lze využít stanovení obsahu humusových látek a jeho porovnání s hodnotami získanými prostřednictvím barevného modelu RGB. Výsledkem tohoto zkoumání je závěr, že s rostoucím obsahem humusu v půdě, tmavne barva půdy a klesají hodnoty RGB.
- Z vlastního hodnocení erozně zasažených zemědělských pozemků vyplývá, že dochází k pozvolnému zvyšování erodovaných ploch v postupujícím čase.
- Práce se snaží poukázat oproti jiným studiím popisujících potenciální erozi na skutečný stav míry eroze zemědělské půdy a její nedostatečnou ochranu proti degradačním procesům. V současné době se v médiích stále častěji vyskytují zprávy o horšícím se stavu zemědělských pozemků, ale také o záboru orné půdy, které podle Janouše (2015) od roku 1966 zmizelo kolem 290 000 hektarů, což odpovídá velikosti 3 okresů.



## 8 Seznam literatury

Aber, J. S., Marzoff, I., Bries, J.B. 2010. Small- Format Aerial Photography. Elsevier, Amsterdam, p. 266. ISBN: 9780444532602.

Betts, H. D., DeRose, R.C. 1999. Digital elevation models as a tool for monitoring and measuring gully erosion. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 1 (2), p. 91-101.

Boardman, J., Poesen, J. 2006. Soil erosion in Europe. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK. ISBN: 9780470859209.

Borufka, O., 2013. Posouzení dostupnosti leteckých snímků pro zhodnocení současného stavu degradace půd. Bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita v Praze, p. 47

CENIA. Profil organizace [online] 2012. [cit. 2015-02-20] Dostupné z www: <<http://www1.cenia.cz/www/o-cenia/profil-organizace>>

ČÚZK. Ortofoto České republiky - úvod [online] 2014a [cit. 2015-03-20] Dostupné z www: <[http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(j2p20e455zsftk55ybgbnn45\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&text=ortofoto\\_info&side=ortofoto&head\\_tab=sekce-02-gp&menu=23](http://geoportal.cuzk.cz/(S(j2p20e455zsftk55ybgbnn45))/Default.aspx?mode=TextMeta&text=ortofoto_info&side=ortofoto&head_tab=sekce-02-gp&menu=23)>

ČÚZK. Výškopis - Úvod [online] 2014b [cit. 2015-03-05] Dostupné z www: <[http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(j2p20e455zsftk55ybgbnn45\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&text=vyskopis&side=vyskopis&head\\_tab=sekce-02-gp&menu=30](http://geoportal.cuzk.cz/(S(j2p20e455zsftk55ybgbnn45))/Default.aspx?mode=TextMeta&text=vyskopis&side=vyskopis&head_tab=sekce-02-gp&menu=30)>

ČÚZK. Působnost úřadu [online] 2013 [cit. 2015-03-05] Dostupné z www: <<http://www.cuzk.cz/O-resortu/Pusobnost-uradu/Vecna-pusobnost-Ceskeho-uradu-zememerickeho.aspx>>

Daba, S., Riger, W., Strauss, P. 2003. Assessment of gully erosion in eastern Ethiopia using photogrammetric techniques. Catena 50 (2-4), p. 273-291.

Fletcher, P.C., Veneman P.L.M., 2014. Soil morphology as an indicator of seasonal high water tables. Dostupné také z: <<http://nesoil.com/properties/eshwt.htm>>

Fulajtár, E. 1994. Identification of Severely Eroded Soils from Remote Sensing Data Tested in Rišňovice, Slovakia. In: D.E. Srott, R.H. Mohtar and G.C. Steinhardt (eds). 2001 Sustaining the Global Farm. Selected papeprs from the 10th International Soil Conservation Organization Meeting held May 24-29, 1999 at Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, p. 175-181.

GeoSL AČR. Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad (VGHMúř.) [online] 2007. [cit. 2015-03-25] Dostupné z www: <[http://www.geoservice.army.cz/html/s\\_urad.html](http://www.geoservice.army.cz/html/s_urad.html)>

Habel, J. 2009. Základy světelné techniky (5). Časopis Světlo, 2009/6. 53-57.

Hníková E., Eroze půdy připraví Česko ročně o deset miliard korun. Týdeník Ekonom, 6.3.2015.

Janeček, M., Bečvář, M., Bohuslávka, J., Dufková, J., Dumbrovský, M., Dostál, T., Hůla, J., Jakubíková, A., Kadlec, V., Krása, J., Kubátová, E., Novotný, I., Podhrázská, J., Tippl, M., Toman, F., Vopravil, J., Vrána, K. 2007. Ochrana zemědělské půdy před erozí: Metodika. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha, p. 76. ISBN: 9788025409732

Janouš, V. Sedlákům se daří. Bez dotací by to ale nešlo. [online]. 2015. [cit. 2015-04-07]. Dostupné také z www: <<http://www.denik.cz/ekonomika/sedlakum-se-dari-bez-dotaci-by-to-ale-neslo-20150406.html> >

Kouhout, H. 2009. Použití barev v počítačové grafice. Sborník recenzovaných příspěvků mezinárodní elektronické konference: Média a vzdělání. Vysoká škola holetová v Praze 8, spol. s.r.o. ISBN: 9788086578941. p.52-54.

Krása, J. 2010. Empirické modely vodní eroze v ČR. Habilitační práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební. Praha, p. 159

Kutílek, M. 2012. Půda Planety Země. Dokořán, Praha, p. 200. ISBN:9788073632120.

Martínez - Casasnovas, J.A. 2003. A spatial information technology approach for mapping and quantification of gully erosion. *Catena* 50 (2-4), p. 293-308.

Marzloff, I., Poesen, J. 2009. The potential of 3D gully monitoring with GIS using high-resolution aerial photography and a digital photogrammetry system. *Geomorphology* 111(1-2), p. 48 – 60.

Novák P., Zlatušková, S., 2012. Výkladový terminologický slovník pedologie. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Praha. p. 150. ISBN: 9788087361122

Pihan, R. 2012. Vše o světle- 5. Barevné modely. Dostupné z www: <[http://www.fotoroman.cz/techniques3/svetlo05color\\_model.htm](http://www.fotoroman.cz/techniques3/svetlo05color_model.htm)>

Poynton Ch. Frequently Asked Questions about Color [online]. 1997. [cit. 2015-02-22]. Dostupné také z www: <<http://www.poynton.com/PDFs/ColorFAQ.pdf>>

Province of Manitoba, 2015. Soil erosion. Dostupné také z : <<http://www.gov.mb.ca/agriculture/environment/soil-management/soil-management-guide/soil-erosion.html>>

Struha, P. Historie leteckých archivů [online]. Únor, 2013. [cit. 2013-02-15]. Dostupné také z www: <[www.muhb.cz/VismoOnline\\_ActionScripts/File.ashx?id](http://www.muhb.cz/VismoOnline_ActionScripts/File.ashx?id)>

Šarapatka B., Netopil, P. 2009. Porovnání metod výzkumu erozních procesů v produkčních zemědělských oblastech. Katedra ekologie živoního prostředí, PřF UP Olomouc, p. 7.

Šarapatka, B., Netopil, P. 2009. Erosion processes on intensively farmed land in the Czech republic: comparison of alternative research methods. Department of Ecology and Environmental Sciences, Palacký University. Olomouc. p. 50. Dostupné také z www: <<http://www.iuss.org/19th%20WCSS/Symposium/pdf/1517.pdf>>

- Vácha, R., Borůvka, L. Úprava degradovaných půd. [CD-ROM] 2009. [cit. 2013-3-2-] ISBN: 9788021319035.
- Van Oost K., Cerdan O., Quine, T. A. 2009. Accelerated sediment fluxes by water and tillage erosion on European agricultural land. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34: 1625-1634.
- Van Oost, K., Van Muysen, W., Govers, G., Deckers, J., Quine, T.A., 2005. From water to tillage erosion dominated landform evolution. Elsevier, p. 193-203. ISSN: 0169-555X
- Viscarra Rossel, R.A., Minasny, B., Roudier, P., McBratney, A.B. 2006. Colour space models for soil science. *Geoderma* 133 (3-4), 320 - 337.
- Vondrášková, Š. Klasická orba podporuje vznik výmolové eroze půdy [online] 2008. [cit. 2015-03-25] Dostupné z [www:< http://www.agris.cz/clanek/161167>](http://www.agris.cz/clanek/161167)
- Vopravil, J., Khel, T., Havelková, L., Batysta, M. 2013. Studie zabývající se základní problematikou eroze půdy a jejím současným stavem v Ústeckém a Jihomoravském kraji České republiky. SOWAC, s. r.o., Praha, p. 51.
- Vrieling, A. 2006. Satellite remote sensing for water erosion assessment: A review. *Catena* 65 (1), p. 2-18.
- VÚMOP. Metodický postup pro Monitoring eroze zemědělské půdy- druhé aktualizované vydání. [online]. 2014b. [cit. 2015-03-01]. Dostupné také z [www: <http://me.vumop.cz/mapserv/monitor/docs/metodika.pdf>](http://me.vumop.cz/mapserv/monitor/docs/metodika.pdf)
- VÚMOP. Úvodní slovo. [online]. 2014a. [cit. 2015-03-01]. Dostupné také z [www: <http://me.vumop.cz/mapserv/monitor/index.php>](http://me.vumop.cz/mapserv/monitor/index.php)
- Zádorová, T., Penížek, V., Šefrna, L., Rohošková, M., Borůvka, L. 2011. Spatial delineation of organic carbon-rich Colluvial soils in Chernozem regions by Terrain analysis and fuzzy classification. *Catena* 85 (1), 22- 23.
- Zbírál, J., Malý, S., Váňa, M. a kol, 2011. Jednotné pracovní postupy- Analýza půd III, Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno. P.253. ISBN: 9788074010446

## 9 Internetové mapy

ČÚZK. Prohlížečské služby wms. [online] 2014. [cit. 2015-03-05] Český úřad zeměměřičský a katastrální. Dostupné z wms serveru:

<[http://geoportal.cuzk.cz/WMS\\_ZM25\\_PUB/WMSservice.aspx](http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ZM25_PUB/WMSservice.aspx)>

Holtanová E., Skalák, P. Roční úhrn srážek 1961- 1990. [online] 2008. [cit. 2015-02-18] Český hydrometeorologický ústav. Dostupné z www:

<<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/images/sra6190.gif>>

Holtanová, E., Skalák, P. Průměrná roční teplota vzduchu 1961-1990. [online] 2008. [cit. 2015-02-18] Český Hydrometeorologický ústav. Dostupné z www:

<<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/images/t6190.gif>>

VÚMOP. Mapa skupiny půdních typů [online] 2011. [cit. 2015-03-02] Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. Dostupné z wms serveru:

<[http://geoportal.vumop.cz/wms\\_vumop/zchbpej.asp](http://geoportal.vumop.cz/wms_vumop/zchbpej.asp)>

VÚMOP. Webový archiv Komplexního průzkumu půd. [online] 2014. [cit. 2015-03-02] Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. Dostupné z www:

<<http://wakpp.vumop.cz/?core=aplikace>>

## 10 Seznam použitých zkratek

**AČR** – Armáda České republiky

**ARS** – Agricultural Research Service (Americká agentura pro zemědělský výzkum)

**Atd.** – a tak dále

**BM** – „Boží Muka“ označení půdních vzorků zájmového území Lounsko

**BPEJ** – Bonitovaná půdně ekologická jednotka

**CENIA** – Česká informační agentura životního prostředí

**CIE** – mezinárodní úřad Commission internationale de l'éclairage

**CIE XYZ, CIE YXY, CIELAB, CIELuv** – barevné modely CIE

**Cox** – oxidovatelný organicky vázaný uhlík

**ČHMÚ** – Český hydrometeorologický ústav

**ČM** - černozem

**ČR** – Česká republika

**ČÚZK** – Český úřad zeměměřičský a katastrální

**DMR 5G** – digitální model reliéfu České republiky 5. generace

**EEA** – Evropská agentura pro životní prostředí

**Eionet** – Evropská informační a pozorovací síť pro životní prostředí

**GeoSL AČR** – Geologická služba armády České republiky

**GIS** – Geografický informační systém

**HM** - hnědozem

**HVC** – Munsellův barevný model - hodnota, odstín, sytost

**KPP** – Komplexní průzkum zemědělských půd

**LPIS** – Veřejný registr půdy

**MO** - Ministerstvo obrany

**RGB** – barevný model red, green, blue

**SOWAC GIS** – geoportál tematicky zaměřen na ochranu půdy, vody, a krajiny na území České republiky. Provozuje jej Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy.

**VGHMúř.** – Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad

**Viz** - vidět

**VÚMOP** - Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy

## 11 Seznam obrázků

**Obrázek 1.** Stržová eroze v Afghánistánu. Zdroj: diplomant.

**Obrázek 2.** Posun půdy způsobený orbou. Zdroj: Provinence of Manitoba, 2015.

**Obrázek 3.** Munsellovy tabulky. Zdroj: Fletcher et Veneman, 2014.

**Obrázek 4.** Barevný model RGB znázorněn jako krychle. Zdroj: Pihan, 2012.

**Obrázek 5.** Schéma barevného modelu CIE LAB. Zdroj: Pihan, 2012.

**Obrázek 6.** Rozdělení České republiky podle poledníkových pásem pro tvorbu ortofotomap Zdroj: ČÚZK, 2014.

**Obrázek 7.** Výřez mapy ČR s vyznačeným širším územím v původním měřítku 1 : 20 000. Mapa poskytnuta © 2015 ČÚZK.

**Obrázek 8.** Ortofotomapa vyznačeného širšího území v původním měřítku 1 : 20 000. Snímek poskytnutý © 2015 ČÚZK.

**Obrázek 9.** Skupiny půdních typů v zájmovém území Lounsko, mapa v původním měřítku 1 : 20 000. Zdroj: VÚMOP, 2011.

**Obrázek 10.** Půdní mapa části území Lounsko- výřez mapy KPP z roku 1954. Zdroj: VÚMOP, 2014.

**Obrázek 11.** Výřez mapy ČR s vyznačeným širším územím jižní Morava v původním měřítku 1 : 25 000. Mapa poskytnuta © 2014 ČÚZK.

**Obrázek 12.** Ortofotomapa vyznačeného území jižní Morava v původním měřítku 1 : 25 000. Snímek poskytnutý © 2015 ČÚZK.

**Obrázek 13.** Skupiny půdních typů v zájmovém území, mapa v původním měřítku 1 : 25 000. Zdroj: VÚMOP, 2011.

**Obrázek 14.** Půdní mapa části území Morava – výřez mapy KPP z roku 1954. Zdroj: VÚMOP, 2014.

**Obrázek 15.** Porovnání leteckých snímků. Detail obce Nečichy. Vlevo letecký snímek z roku 2011 s rozlišením rastru 0,5 metru. Vpravo letecký snímek z roku 1938 snímkovaný s rozlišením 1 : 20 000. Letecký snímek poskytl © 2012 ČÚZK a VGHMúř. Dobruška, © MO ČR 2011.

**Obrázek 16.** Histogram černobílého snímku (nahore) a histogram po provedené normalizaci (dole). Půdní blok jižní Morava.

**Obrázek 17.** Klasifikace pomocí klastrové analýzy půdního bloku na území Louny v prostředí programu SAGA.

**Obrázek 18.** Snímek zvoleného půdního bloku s místy odběru vzorků na zájmové lokalitě Lounsko. Letecký snímek poskytl © 2015 ČÚZK.

**Obrázek 19.** Příklad provedené klasifikace vhodnosti snímku pro sledování erozních jevů v původním měřítku 1 : 45 000 území Lounska z roku 1964. Letecký snímek poskytl VGHMúř Dobruška, © MO ČR 2011.

**Obrázek 20.** Detail provedené klasifikace vhodnosti snímku pro sledování erozních jevů v původním měřítku 1: 20 000 z roku 1964. Letecký snímek poskytl VGHMúř. Dobruška, © MO ČR 2011.

**Obrázek 21.** Letecký snímek zájmového území s označením zvoleného půdního bloku v původním měřítku 1 : 20 000 z roku 2013. Letecký snímek poskytl © 2015 ČÚZK.

**Obrázek 22.** Letecký snímek zájmového území s označením zvoleného půdního bloku v původním měřítku 1 : 25 000. Letecký snímek poskytl © 2015 ČÚZK.

**Obrázek 23.** Fotografie vzorků, na kterých byly vytvořeny hodnoty RGB.

**Obrázek 24.** Histogramy vzorků BM 1 – BM 11, popisující střední hodnoty RGB.

**Obrázek 25.** Fotografie vzorků, ze které byly měřeny hodnoty RGB.

**Obrázek 26.** Výřezy leteckých snímků z let 1938, 1952, 1987 a 2011 před normalizací dat.

**Obrázek 27.** Normalizované výřezy leteckých snímků z let 1938, 1952, 1987 a 2011 s histogramy.

**Obrázek 28.** Výřezy leteckých snímků z roku 1938 a 1952 s provedenou klasifikací.

**Obrázek 29.** Výřezy leteckých snímků z roku 1987 a 2011 s provedenou klasifikací.

**Obrázek 30.** Výřezy leteckých snímků z let 1979 a 2003 před normalizací dat.

**Obrázek 31.** Normalizované výřezy leteckých snímků z let 19379 a 2003 s histogramy.

**Obrázek 32.** Výřezy leteckých snímků z roku 1979 a 2003 s provedenou klasifikací.



## 12 Seznam tabulek a grafů

**Graf 1.** Rozloha jednotlivých tříd možnosti sledování erozních jevů (třídy viditelnosti holého povrchu půdy podle klasifikace v kapitole 4.2.1.2 v hektarech mezi roky 1938 – 2011.

**Graf 2.** Procentuelní zastoupení jednotlivých tříd podle půdních bloků v rozmezí let 1938 – 2011.

**Graf 3.** Rozloha jednotlivých tříd možnosti sledování erozních jevů (třídy viditelnosti holého povrchu půdy podle klasifikace v kapitole 4.2.1.2 v hektarech mezi roky 1938 – 2011.

**Graf 4.** Procentuelní zastoupení jednotlivých tříd podle půdních bloků v rozmezí let 1938 – 2009.

**Graf 5.** Závislost hodnot RGB a obsahu humusových látek.

**Graf 6.** Závislost hodnot RGB a obsahu humusových látek.

**Graf 7.** Procentuelní vyjádření jednotlivých tříd ve všech letech hodnocení.

**Graf 8.** Zastoupení jednotlivých tříd na území jižní Morava.

**Tabulka 1.** Přehled všech získaných snímků území Louny z uvedených institucí.

**Tabulka 2.** Přehled všech získaných snímků území jižní Morava z uvedených institucí.

**Tabulka 3.** Časové období, rozloha a počet půdních bloků, kde se vyskytují erozní jevy.

**Tabulka 4.** Časové období, rozloha a počet půdních bloků, kde se vyskytují erozní jevy.

**Tabulka 5.** Výsledky laboratorních měření.

**Tabulka 6.** Hodnoty humusových látek a střední hodnoty RGB.

**Tabulka 7.** Obsah Cox a organických látek.

**Tabulka 8.** Hodnoty humusových látek a střední hodnoty RGB.

## 13 Samostatné přílohy

**Příloha 1.** Letecký snímek z roku 1938 s provedenou analýzou širšího území Lounsko. Letecký snímek poskytl VGHMÚř. Dobruška, © MO ČR 2011

**Příloha 2.** Letecký snímek z roku 1952 s provedenou analýzou širšího území Lounsko. Letecký snímek poskytl VGHMÚř. Dobruška, © MO ČR 2011

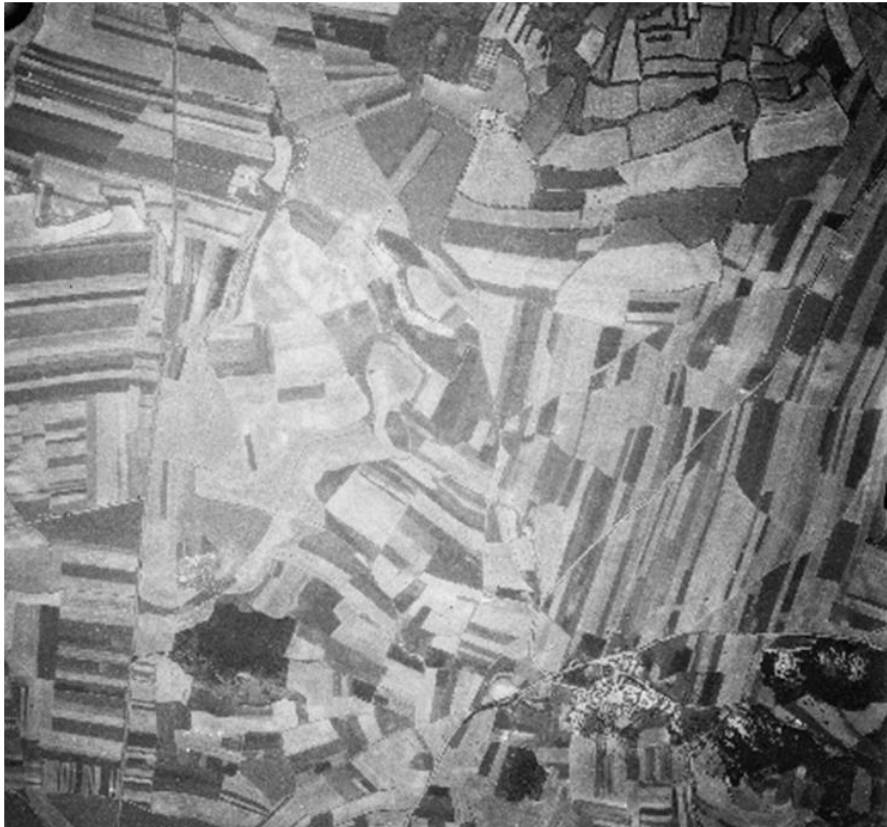
**Příloha 3.** Letecký snímek z roku 1987 s provedenou analýzou širšího území Lounsko. Letecký snímek poskytl VGHMÚř. Dobruška, © MO ČR 2011.

**Příloha 4.** Letecký snímek z roku 1993 s provedenou analýzou širšího území Lounsko. Letecký snímek poskytl VGHMÚř. Dobruška, © MO ČR 2011.

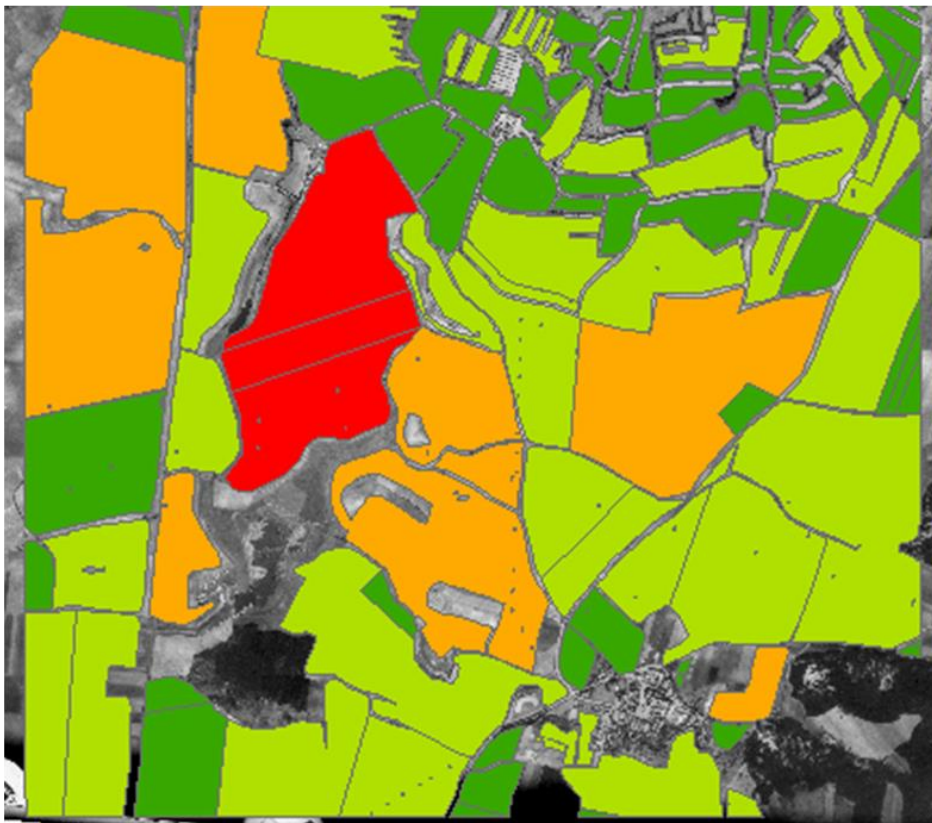
**Příloha 5.** Letecký snímek z roku 1938 s provedenou analýzou širšího území Jižní Morava. Letecký snímek poskytl VGHMÚř. Dobruška, © MO ČR 2011.

**Příloha 6.** Letecký snímek z roku 1953 s provedenou analýzou širšího území Jižní Morava. Letecký snímek poskytl VGHMÚř. Dobruška, © MO ČR 2011.

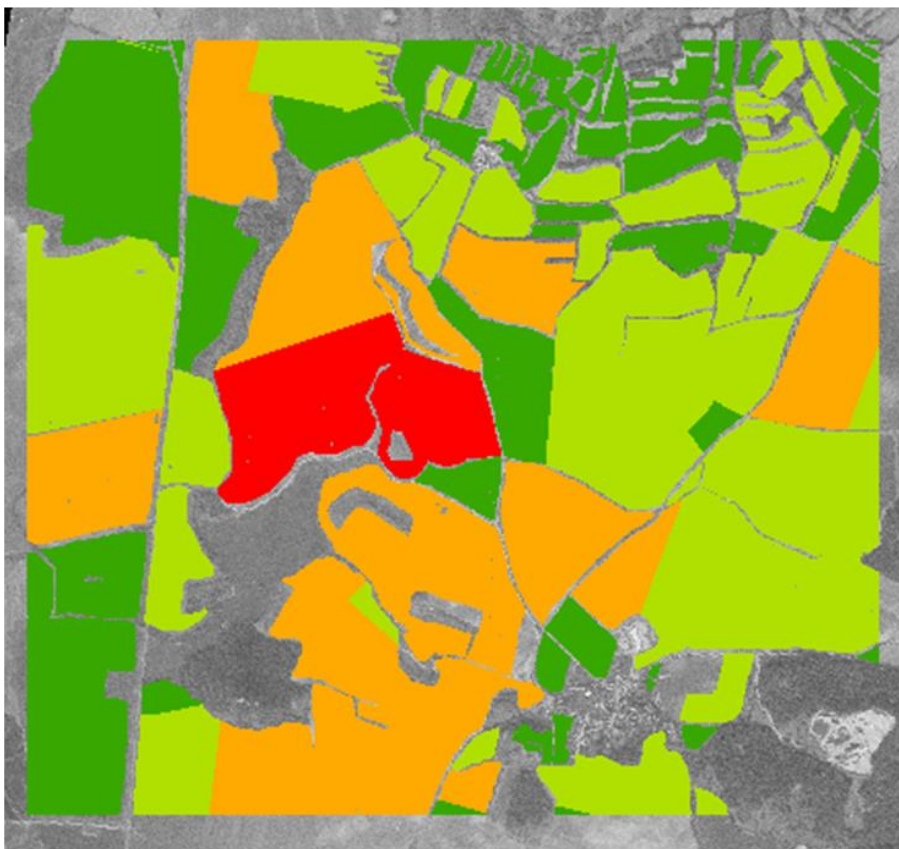
**Příloha 7.** Letecký snímek z roku 2009 s provedenou analýzou širšího území Jižní Morava. Letecký snímek poskytl © 2013 ČÚZK.



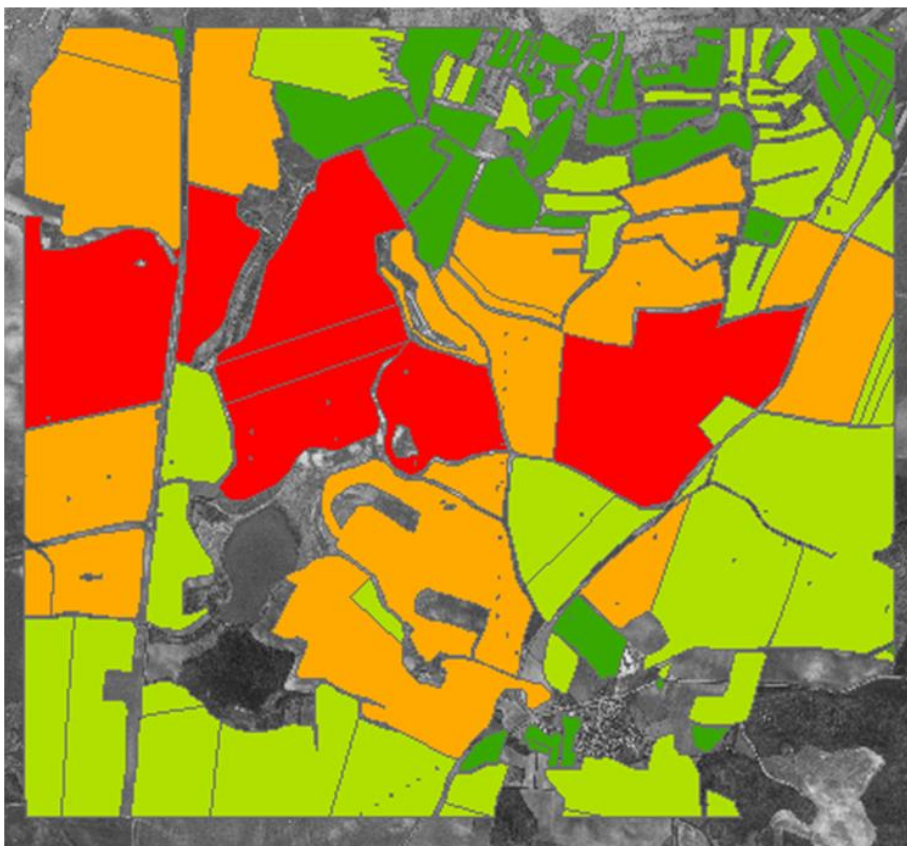
Příloha 1. Letecký snímek z roku 1938 s provedenou analýzou širšího území Lounsko. Letecký snímek poskytl VGHMúř. Dobruška, © MO ČR 2011



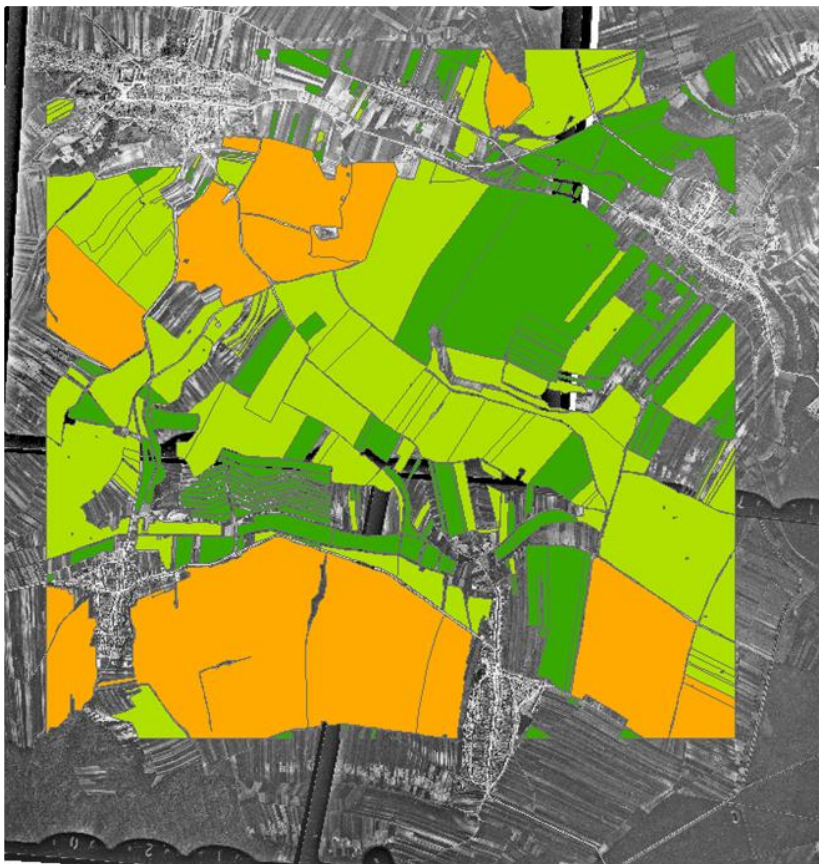
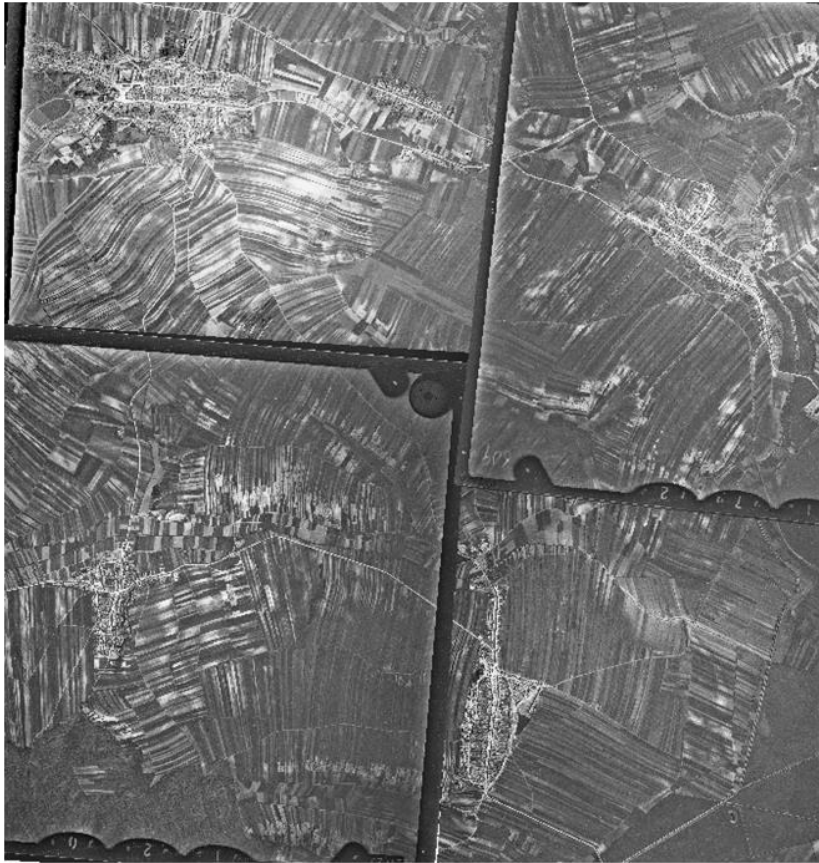
Příloha 2. Letecký snímek z roku 1952 s provedenou analýzou širšího území Lounsko. Letecký snímek poskytl VGHMúř. Dobruška, © MO ČR 2011.



Příloha 3. Letecký snímek z roku 1987 s provedenou analýzou širšího území Lounsko. Letecký snímek poskytl VGHMúř. Dobruška, © MO ČR 2011.

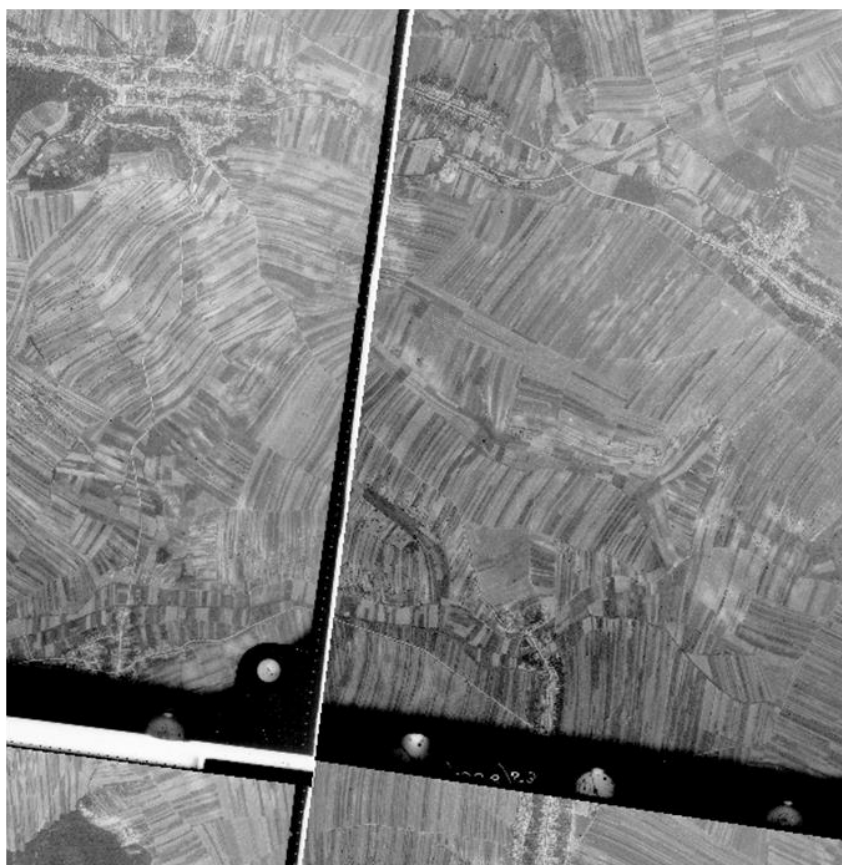


Příloha 4. Letecký snímek z roku 1993 s provedenou analýzou širšího území Lounsko. Letecký snímek poskytl VGHMúř. Dobruška, © MO ČR 2011.

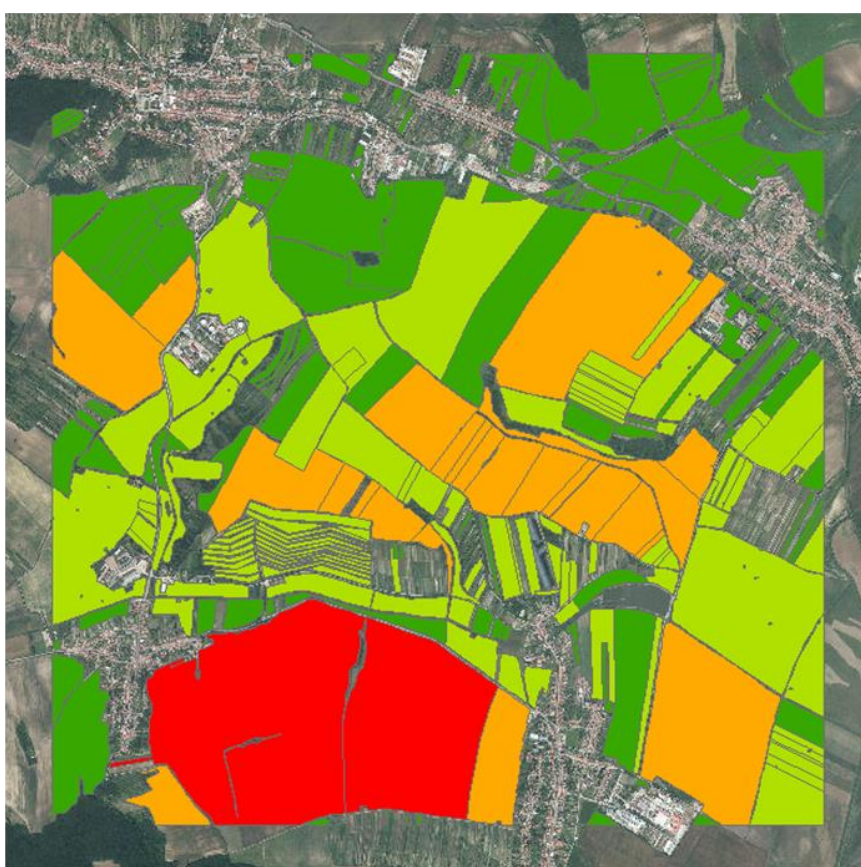
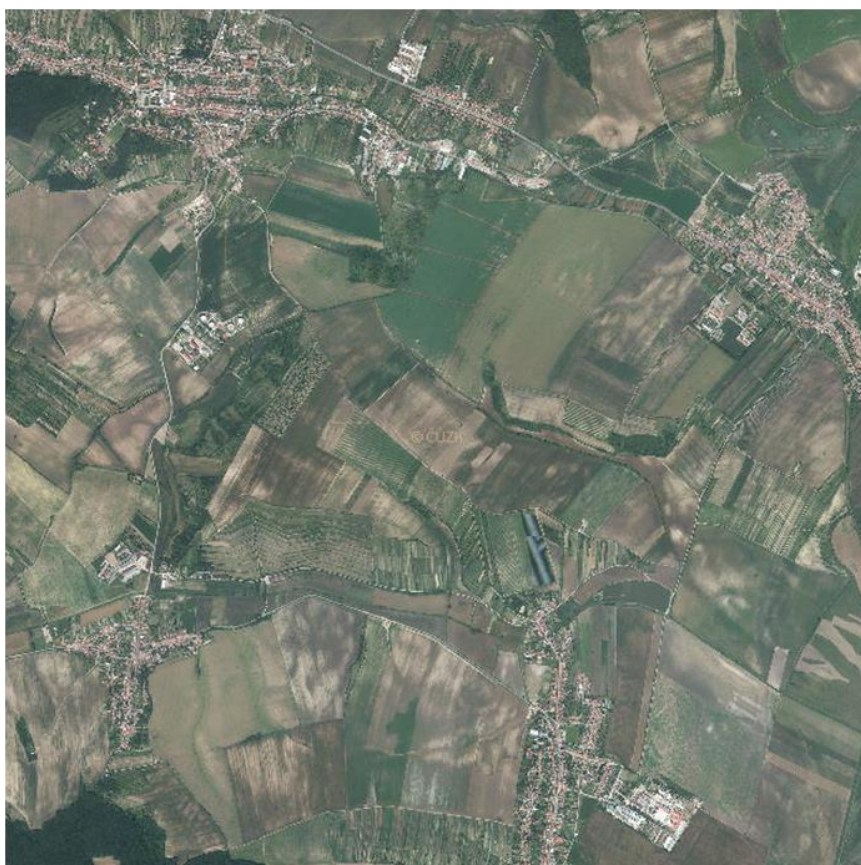


Příloha 5. Letecký snímek z roku 1938 s provedenou analýzou širšího území Jižní Morava. Letecký snímek poskytl VGHMÚř Dobruška, © MO ČR 2011.





Příloha 6. Letecký snímek z roku 1953 s provedenou analýzou širšího území Jižní Morava. Letecký snímek poskytl VGHMÚř Dobruška, © MO ČR 2011.



Příloha 7. Letecký snímek z roku 2009 s provedenou analýzou širšího území Jižní Morava. Letecký snímek poskytl © 2013 ČÚZK.

