

M E N D E L O V A U N I V E R Z I T A V B R N Ě

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav hospodářské úpravy lesů a aplikované geoinformatiky



Lesnická
a dřevařská
fakulta

**Tvorba databáze krasových jevů na území ŠLP Křtiny z dat leteckého
laserového skenování**

Diplomová práce

autor:

Bc. Marie Balková

vedoucí práce:

Ing. Tomáš Mikita, Ph.D.

Brno 2016

Prohlašuji, že jsem práci: Tvorba databáze krasových jevů na území ŠLP Křtiny pomocí dat leteckého laserového skenování zpracovala samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědoma, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladu spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně, dne:

.....

Podpis studenta

Za odborné vedení této práce bych chtěla poděkovat zvláště Ing. Tomáši Mikitovi, PhD., a za cenné rady doc. Mgr. Aleši Bajerovi, PhD. a RNDr. Antonínu Tůmovi. Velký dík patří mým rodičům, dědečkovi a sourozencům za podporu během studia. A dále chci poděkovat mým přátelům a kamarádům za všechnu pomoc, zážitky a krásné roky v Brně.

Abstrakt

Marie BALKOVÁ

Tvorba databáze krasových jevů na území ŠLP Křtiny pomocí dat laserového leteckého skenování

Tato diplomová práce se zabývá popisem krasu a jeho typických jevů s důrazem na povrchové útvary – závrty. Dále popisem a technologií leteckého laserového skenování, postupem sběru a zpracování dat a využitím pro účely identifikace terénních depresí na základě výzkumu a postupů zahraničních odborníků. Z těchto dostupných studií je vybrána nejvhodnější metodika, která je aplikována na data digitálního modelu reliéfu 5. generace. Výsledky této aplikace jsou porovnány s dostupnou databází závrťů vedenou na CHKO Moravský kras a vlastním terénním šetřením.

Klíčová slova: kras, závrť, letecké laserové skenování (LLS), digitální model reliéfu 5. generace (DMR 5G), geoinformační systémy (GIS)

Abstract

Marie BALKOVÁ

Database creation of karst phenomena in the area of TFE Masaryk Forest Křtiny using aerial laser scanning data

This diploma thesis deals with description of the karst and its typical phenomena with emphasis on surface features – sinkholes. Further, it describes the airborne laser scanning (ALS) technology, data collection and processing procedure and utilization for the purpose of terrain depressions identification based on the researches and processes of foreign experts. From these available studies, the most suitable methodology is chosen and applied to Digital Elevation Model of 5th generation (DEM 5G) data. The results of this application are compared with available sinkholes databases kept in the PLA Moravian Karst office and own terrain research.

Key words: karst, sinkhole, Airborne Laser Scanning (ALS), Digital Elevation Model of 5th Generation (DEM 5G), Geoinformational Systems (GIS)

OBSAH

1. Úvod	9
2. Cíl práce	10
3. Literární přehled	11
3.1 Letecké laserové skenování.....	11
3.1.1. Dálkový průzkum Země	11
3.1.2 Principy LLS	11
3.1.3 Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G)	13
3.1.4 Používaná technika pro LLS v České republice.....	15
3.1.5 Postup zpracování leteckých laserových dat	16
3.1.6 Přesnost a kvalita DMR 5G	18
3.2 Kras a krasové jevy	21
3.2.1 Kras.....	21
3.2.2 Vznik krasu.....	21
3.2.3 Druhy krasu	22
3.2.4 Primární krasové jevy.....	24
3.2.5 Sekundární krasové jevy.....	24
3.2.6 Závrt	24
3.2.7 Závrtý na území CHKO Moravský kras a jejich výzkum	29
3.2.8 Těžba železné rudy a vápence v oblasti CHKO Moravského krasu související s výskytem závrťů	32
3.3 Příklady zahraničních studií identifikace krasových jevů.....	33
4. Charakteristika území	35
4.1 Širší územní vztahy	35
4.1.1 Školní lesní podnik Masarykův les Křtiny	35
4.1.2 Lokalizace.....	36
4.1.3 Geomorfologie.....	36

4.1.4 Geologie a pedologie	36
4.1.5 Klima	36
4.1.6 Hydrologie	37
4.1.7 Vegetace	37
4.1.8 Fauna	38
4.1.9 Hospodářská činnost na ŠLP	39
4.2 Podrobná charakteristika zájmové lokality	40
5. Metodika	46
5.1 Použité datové zdroje	46
5.2 Identifikace závrťů v prostředí ArcGIS	46
5.3 Ověření vypočtených dat v terénu	49
6. Výsledky	51
7. Diskuze	58
8. Závěr	60
9. Summary	61
10. Seznam literatury	62
11. Přílohy	65

Seznam obrázků:

- Obr. 1: Základní princip laserového měření délek
- Obr. 2: Pokrytí ČR DMR 5G v aplikaci Analýzy výškopisu na portálu ČÚZK s možností generace údajů o nadmořské výšce konkrétních bodů a vykreslení výškového profilu
- Obr. 3: Příklady tvarů terénu jasně rozpoznatelných na DMR 5G po odfiltrování porostu
- Obr. 4: Scanner RIEGL LMS – Q680i
- Obr. 5: Letoun L410 Turbolet FG speciálně upravený pro LLS
- Obr. 6: Rozšíření výchozů karbonátových hornin na Zemi
- Obr. 7: Komplexní krasový systém a jeho hlavní jevy vyskytující se v aktivním krasovém terénu
- Obr. 8: Rozdělení závrťů
- Obr. 9: Polygonální kras v Craigmore na Jižním ostrově, Nový Zéland
- Obr. 10: Xiaozhai tiankeng – řícený závrť o šířce přes 0,5 km při horním okraji, Chongqing, Čína
- Obr. 11: Vlevo - Malá Macocha dnes, vpravo - Malá Macocha na dobové fotografii
- Obr. 12: Závrť vzniklý v roce 2014 u Ostrova u Macochy
- Obr. 13: ŠLP Masarykův les Křtiny na mapě širších územních vztahů
- Obr. 14: Katastrální území obce Babice nad Svitavou a jeho poloha na území ŠLP Křtiny
- Obr. 15: Geologické poměry
- Obr. 16: Pedologické poměry
- Obr. 17: MZCHÚ na Babické plošině
- Obr. 18: Zaplnění terénních depresí pomocí příkazu Fill
- Obr. 19: Příkazem Fill lze také naopak odstranit náhodné vyvýšeniny
- Obr. 20: Terénní deprese na DMT 5G (vlevo) a její identifikace a zaplnění pomocí nástroje Fill (vpravo)
- Obr. 21: Porovnání výpočtu pomocí příkazu Fill (zelená) a Sink (červená)
- Obr. 22: GPS Trimble JUNO 5D
- Obr. 23: Porovnání mapové vrstvy zobrazující závrty hlubší než 0,5 m (modrá, 1. a 2. měření) a hlubší než 1 m (červená, 3. měření)
- Obr. 24: Četnosti výskytu závrťů v intervalu 1 m
- Obr. 25: Četnosti výskytu závrťů s hloubkou 1 - m v intervalu 0,1 m
- Obr. 26: Výsledek měření č. 1
- Obr. 27: Porovnání závrťů a antropogenní deprese jako pozůstatku po povrchové těžební činnosti s jasně patrným obvalem
- Obr. 28: Nad Bílou skálou - pozůstatky po vápencovém důlním díle
- Obr. 29: Výsledky měření č. 2
- Obr. 30: Skupina závrťů Zadní pole

Obr. 31: Výsledky měření č. 3

Seznam tabulek:

Tab. 1: Charakteristiky přesnosti DMR 5G na různém povrchu a půdním krytu

Tab. 2: Porovnání rozdílů nadmořských výšek interpolovaných rastrů z dat DMR 5G a tachymetricky zaměřených bodů v lesním porostu

Tab. 3: Četnosti výskytu závrťů v intervalu 1 m

Tab. 4: Četnosti výskytu závrťů s hloubkou 1 - m v intervalu 0,1 m

Seznam příloh:

Příloha 1: Identifikované deprese hlubší než 1 m s plochou nad 1 m²

Příloha 2: Terénní měření č. 1

Příloha 3: Terénní měření č. 2

Příloha 4: Terénní měření č. 3

Příloha 5: MR 5G k. ú. Babice nad Svitavou - celkový pohled, model reliéfu upravený stínováním

Příloha 6: Mapa identifikovaných závrťů

Seznam použitých zkratek:

ALS – Airborne Laser Scanning

AOPK ČR – Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky

Bpv – Balt po vyrovnání

ČÚZK – Český úřad zeměměřičský a katastrální

CHKO – Chráněná krajinná oblast

DEM 5G – Digital Elevation Model of 5th Generation

DMR 5G – Digitální model 5. generace

DPZ – Dálkový průzkum Země

GIS – Geoinformační systémy

GNSS – Global Navigation Satellite System

GPS – Global Position System

IDW - Inverse Distance Weighting

IMU – Inertial Measurement Unit

LDF – Lesnická a dřevařská fakulta

LIDAR – Light Detection and Ranging

LLS – Letecké laserové skenování

MAS – Místní akční skupina

NN – Natural Neighbour

NPR – Národní přírodní rezervace

PP – Přírodní památka

PR – Přírodní rezervace

RMSE – Root Mean Squared Error

SAPARD – Special Accesion Programme for Agriculture and Rural Development

S-JTSK – Systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální

ŠLP – Školní lesní podnik

TIN – Triangulated Irregular Network

TTR – Topo To Raster

USA – The United States of America

UTM – Universal Transverse Mercator

WGS – World Geodetic System

1. ÚVOD

V České republice se nachází několik krasových oblastí s různě vyvinutými povrchovými i podpovrchovými jevy. Nejvýznamnějšími a největšími jsou Český a Moravský kras, dále pak menší komplexy v okolí Javoříčka, Hranic, Mladče apod. Jeskyně jsou v České republice přísně chráněny. Na území České republiky se nalézá i jeden z největších podzemních systémů – Amatérská jeskyně v Moravském krasu.

Tyto lokality jsou unikátní svými geologickými, mineralogickými, pedologickými, geomorfologickými a hydrologickými podmínkami. Je na ně též navázána specifická fauna i flóra. Nalezneme zde mnoho endemických druhů, které se přizpůsobily životu bez denního světla. Velmi zajímavé jsou jeskynní systémy také z historického a antropologického hlediska, protože v minulosti poskytovaly útočiště skupinám pravěkých obyvatel, kteří zde zanechali pozůstatky po své denní činnosti, jako jsou různé zbraně, nástroje, nádoby, jeskynní malby na stěnách a kosti ulovených zvířat.

Krasové oblasti byly dříve poměrně neprozkoumanou oblastí, hlouběji do jeskyní se lidé příliš neodvažovali. Jedním z nejznámějších průkopníků objevování jeskyní byl Karel Absolon. V dnešní době je speleologie v ČR na světové úrovni, čeští speleologové učinili již mnoho významných objevů také v zahraničí v mnohem rozsáhlejších komplexech jeskyní. Krasové oblasti jsou stále předmětem zájmu pro mnoho vědců a jsou zdrojem nových poznatků a objevů.

Zajímavé je pozorovat, jak podzemní kras ovlivňuje krajinu ležící nad ním. V minulosti bylo možné tvary terénu sledovat pouze ze zemského povrchu, avšak s vynálezem letadla přišla i možnost podívat se na zemský povrch z výšky a pořizovat letecké snímky. S rozvojem technologií se tento způsob výzkumu stal velmi populárním a umožnil učinit nové objevy nejen v mnoha oblastech zájmu, kromě zde zmiňovaného výzkumu krasu i např. v archeologii, lesnictví, zemědělství apod.

2. CÍL PRÁCE

Tato diplomová práce je zaměřena na jednu z možností využití dat z leteckého laserového skenování a Digitálního modelu reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G). Tento model vykazuje poměrně velkou přesnost a lze na něm identifikovat i velmi drobné nerovnosti terénu. Lze ho tedy využít mj. při mapování krajinného reliéfu a studiu geomorfologických útvarů včetně určení rozměrových parametrů. V této práci je DMR 5G využit pro mapování závrťů na ŠLP Masarykův les Křtiny ve spolupráci s CHKO Moravský kras. Jako podklad, zdroj informací a metodiky slouží různé zahraniční studie, které v nedávné době proběhly v několika rozsáhlých krasových oblastech celého světa pomocí méně přesných terénních digitálních modelů. V České republice takový podobný výzkum ještě nebyl v žádné krasové oblasti realizován.

Pro účely této práce byly vytyčeny tyto stěžejní cíle:

- a) z dosud uveřejněných metodik identifikace terénních depresí vybrat nejvhodnější z nich pro práci s DMR 5G a pomocí ní provést výpočet mapové vrstvy, která bude graficky zobrazovat polygony s potenciálním výskytem závrťů,
- b) terénním měřením ověřit přesnost tohoto výpočtu a zaměřit nalezené závrty,
- c) porovnat výsledky výpočtu a měření v terénu s databází závrťů dostupnou na CHKO Moravský kras a zpracovat je do podoby mapy, grafů a tabulek,
- d) na základě srovnání vyhodnotit přesnost DMR 5G a jeho využitelnost pro identifikaci a určení parametrů závrťů v krasových oblastech České republiky.

3. LITERÁRNÍ PŘEHLED

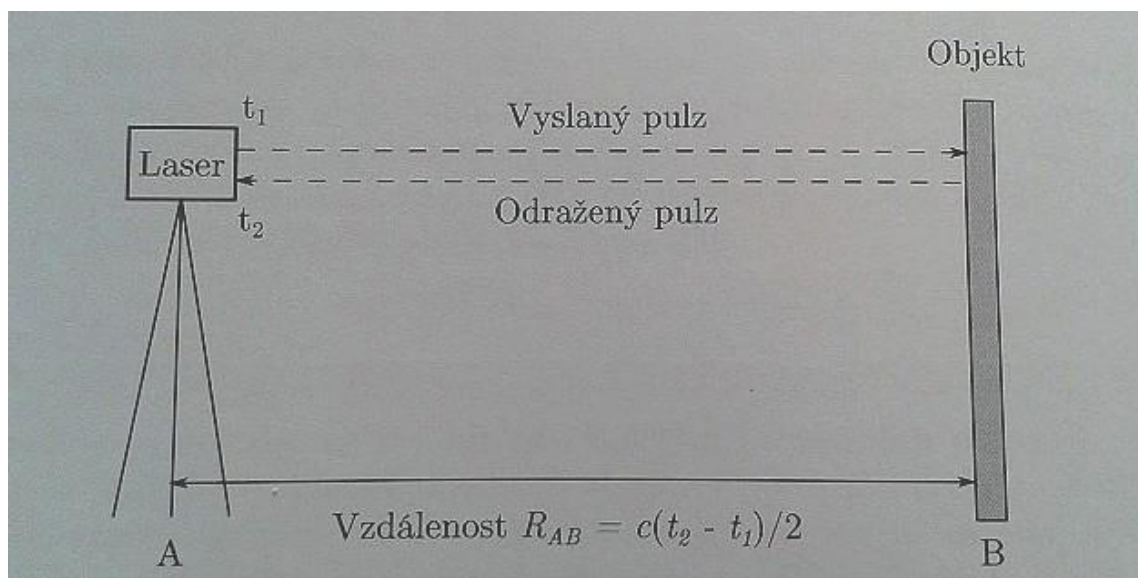
3.1 Letecké laserové skenování

3.1.1. Dálkový průzkum Země

Letecké laserové skenování (LLS) je jednou z technologií dálkového průzkumu Země (DPZ). Dalšími technologiemi jsou hyperspektrální DPZ z leteckých nosičů (obrazová spektroskopie) a termální DPZ (obrazová termografie). DPZ se zabývá měřením a analýzou odraženého či vyzářeného elektromagnetického záření od zemského povrchu. Na základě analýz dat odrazivosti či emisivity je tak možné odvodit různé vlastnosti zemského povrchu. (ZEMEK a kol., 2014)

3.1.2 Principy LLS

Laserové skenování je technologie pro bezkontaktní snímání dat, umožňující přesné určení polohy a struktury objektu zájmu. Laserové skenery jsou aktivní systémy emitující světelné pulsy a zaznamenávající energii odraženou zpět. Mohou být instalovány jak na pohybujících se, tak i na pozemních platformách.



Obr. 1: Základní princip laserového měření délek. Vzdálenost (R_{AB}) je vypočten z rozdílu mezi časem, kdy je pulz vyslán (t_1) a časem, kdy se odražený vrátí zpět (t_2) a pomocí rychlosti světla (c) (ZEMEK a kol., 2014)

Letecký skenovací systém se skládá z těchto komponent:

- **Dálkoměrná jednotka**

Je složena z laseru, přijímací a vysílací optiky, přijímače s detektorem a digitalizační jednotkou pro sběr přijatých signálů a časového čítače měřícího čas mezi vyslaným a vráceným pulzem. Tato jednotka měří šikmou vzdálenost mezi skenerem a zemí (*Obr. 1*).

- **Skenovací mechanismus**

Určuje vzor, s nímž pulzy dopadají na zemský povrch. Zajišťuje postupné bodové měření podél jedné linie (profil). Pohyb letadla vpřed tak vytváří sérii profilů pokrývajících celý pás terénu.

- **Řídící a záznamová jednotka**

Jde o počítačové zařízení dovolující operátorovi řídit nastavení skenování a proces záznamu dat.

- **Jednotka IMU/GNSS**

Měří přesnou pozici a orientaci leteckého skeneru.

- **Snímkovací zařízení**

LLS je většinou prováděno souběžně se sběrem obrazových dat, například pomocí multispektrální digitální kamery.

Současně s měřením vzdálenosti probíhá také měření intenzity odraženého pulzu. Kvalita signálu je závislá na vlnové délce, odrazivosti povrchu, úhlu dopadu a atmosférických podmínkách. Mnohé systémy využívají odrazivost infračerveného spektra, které je méně citlivé na atmosférické podmínky.

Skenovacími parametry jsou:

- frekvence opakování pulzů,
- míra rychlosti skenování postupných profilů,
- úhlová šířka skenovaného pruhu,
- frekvence opakování pulzů,
- hustota bodů na zemském povrchu.

(ZEMEK a kol., 2014)

3.1.3 Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G)

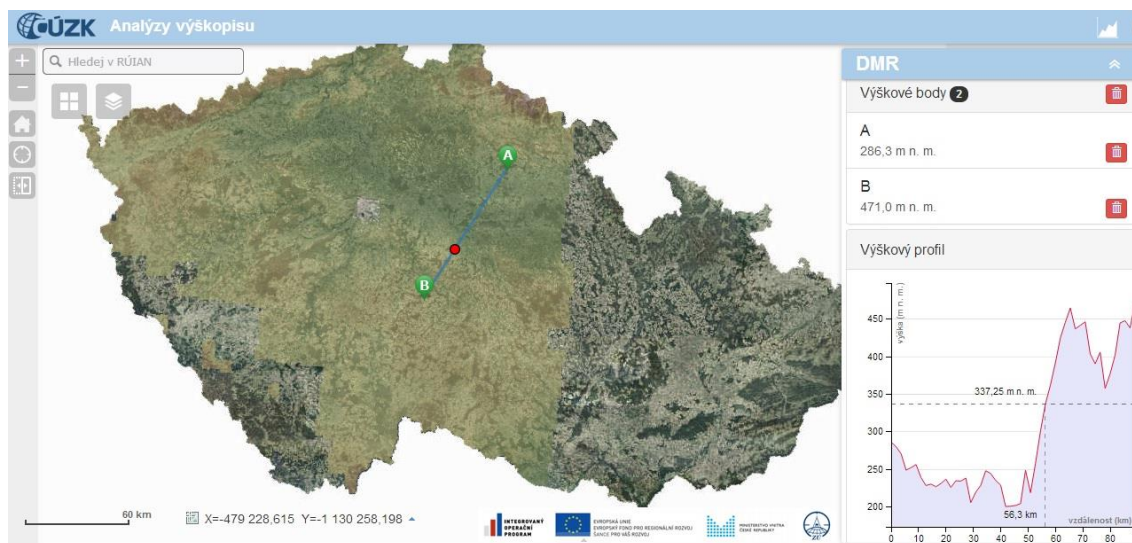
Digitální model reliéfu České republiky 5. generace představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru ve formě výšek diskrétních bodů v nepravidelné trojúhelníkové síti (TIN) bodů o souřadnicích X, Y, H, kde H reprezentuje nadmořskou výšku ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání (Bpv) s úplnou střední chybou výšky 0,18 m v odkrytém terénu a 0,3 m v zalesněném terénu. Model vznikl z dat pořízených metodou leteckého laserového skenování výškopisu území České republiky v letech 2009 až 2013. DMR 5G je určen k analýzám terénních poměrů lokálního charakteru a rozsahu (*Obr. 3*), např. při projektování pozemkových úprav, plánování a projektování dopravních, vodohospodářských a pozemních staveb, modelování přírodních jevů lokálního charakteru, apod. DMR 5G je základní zdrojovou databází pro tvorbu vrstevnic určených pro mapy velkých měřítek a počítačové vizualizace výškopisu v územně orientovaných informačních systémech vysoké úrovně podrobnosti. (ČÚZK, ©2010) Model zájmového území – viz. *Příloha 5*.

Do nedávné doby byla data z LLS v České republice poskytována privátním sektorem. V současnosti jsou zpracovávána v rámci projektů těchto státních institucí:

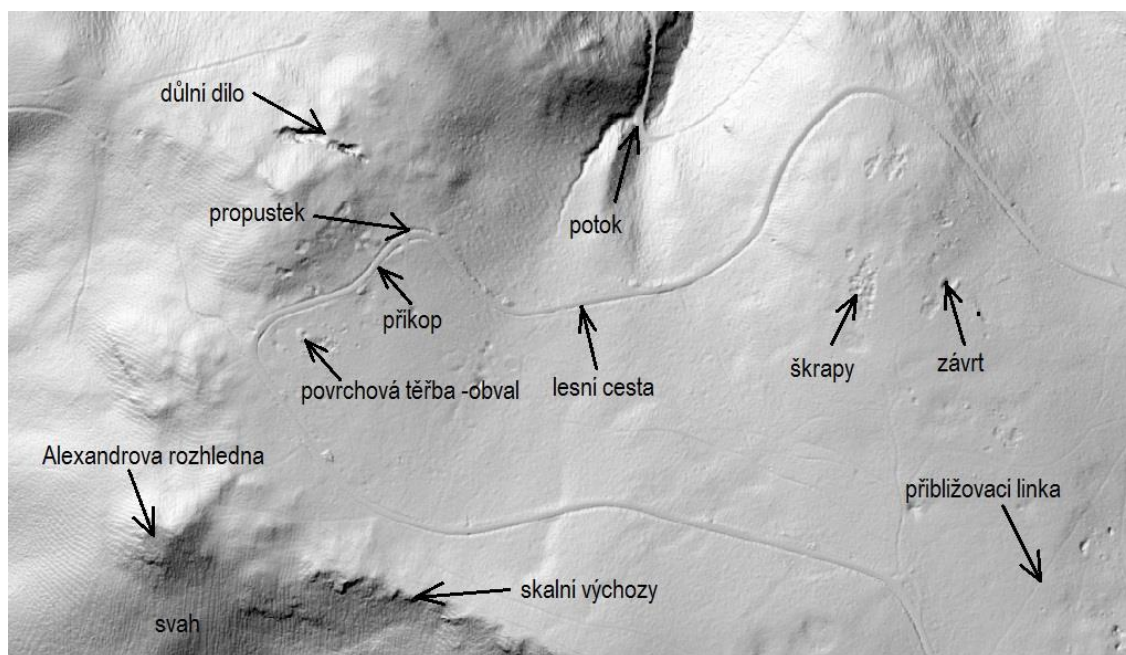
- Český úřad zeměměřičský a katastrální,
- Ministerstvo obrany ČR,
- Ministerstvo zemědělství ČR.

Výstupem je DMR 4G (body v pravidelné síti 5 x 5 m), DMR 5G (trojúhelníková síť TIN) a digitální model povrchu 1. generace (DMP 1G) a také ve tvaru TIN. (ZEMEK a kol., 2014)

Skenování probíhalo na území ČR v letech 2009 až 2013 ve třech pásmech, a to „Střed“, „Západ“ a „Východ“. Skenování pásma „Střed“ se uskutečnilo v období od 22. března do 10. října 2010, skenování pásma „Západ“ se uskutečnilo v období od 9. března do 27. června 2012, skenování pásma východ se uskutečnilo v období od 8. dubna 2013 do 11. listopadu 2013. V současnosti je naskenováno 100 % území ČR (*Obr. 2*). (BRÁZDIL a kol., 2012)



Obr. 2: Pokrytí ČR DMR 5G v aplikaci Analýzy výškopisu na portálu ČÚZK s možností generace údajů o nadmořské výšce konkrétních bodů a vykreslení výškového profilu (ČÚZK, ©2015)



Obr. 3: Příklady tvarů terénu jasně rozpoznatelných na DMR 5G po odfiltrování porostu

3.1.4 Používaná technika pro LLS v České republice

LLS v rámci tvorby nového výškopisu ČR bylo realizováno systémem LiteMapper 6800 firmy IGI, mbH s využitím leteckého laserového skeneru RIEGL LMS – Q680 (*Obr. 4*) s příslušenstvím pro autonomní určování polohy skeneru GPS (Global Positioning System) a IMU (Inertial Measurement Unit). Nosičem leteckého laserového skeneru je speciální letoun MO typu L 410 Turbolet FG (*Obr. 5*). Vlastní skenování se uskutečňuje z průměrné výšky 1200 m nebo 1400 m nad střední rovinou terénu v jednotlivých blocích dle realizačního projektu a v závislosti na vzrůstu vegetace, přičemž bloky (převážně o šířce 10 km) s podobnou členitostí a v určitém rozmezí nadmořských výšek se pro realizaci LLS spojují do bloků s maximální délkou 60 km. (BRÁZDIL a kol., 2012)



*Obr. 4: Scanner RIEGL LMS – Q680i
(Zdroj: <http://www.riegl.com/products/airborne-scanning/produktdetail/product/scanner/23>)*



Obr. 5: Letoun L410 Turbolet FG speciálně upravený pro LLS (Zdroj: <http://dah7.cz/galerie/dopravni-letadla/let-l-410-fg-turbolet-1050.html>)

3.1.5 Postup zpracování leteckých laserových dat

a) *Předzpracování dat*

Účelem tohoto procesu zpracování leteckých laserových dat je analýza surových (nezpracovaných) dat s cílem nalezení jednotlivých odrazů laserového paprsku, jejich georeferencování a transformace polohových souřadnic do pracovního souřadnicového referenčního systému UTM/WGS 84-G873 a výškových údajů do výškového referenčního systému Balt po vyrovnání (Bpv).

b) *Robustní filtrace*

Cílem robustní filtrace je separovat body, ve kterých dopadl laserový paprsek na terén (včetně skal), vegetaci, stavby a výškové překážky leteckého provozu a přitom identifikovat chybná měření (např. letící pták).

Výsledkem tohoto procesu jsou samostatné soubory dat rozříděné podle dopadu paprsku na vyjmenované druhy půdního krytu a objekty na zemském povrchu. Úspěšnost automatizovaných postupů správné klasifikace výškových bodů značně závisí na ročním období, ve kterém byla data pořízena, tj. na stupni rozvinutí vegetace. Orientačně lze klasifikovat úspěšnost automatického zařídění dat, pořízených v období bez rozvinuté vegetace (březen – květen), na 90 % a naopak, v oblastech skenovaných později (červen – září), pouze na 30-40 %.

c) *Manuální (vizuální) kontrola výsledků robustní filtrace*

K eliminaci chyb, vzniklých v místech nespolehlivé robustní filtrace, je prováděna následná interaktivní vizuální kontrola dat. Cílem je odhalit a přeřadit chybně zařazené body do odpovídajících kategorií. Výsledkem tohoto procesu jsou samostatné soubory výškových bodů ležících skutečně na terénu, vegetaci, stavbách a body reprezentující možnou výškovou překážku.

d) *Interpolace výškového modelu terénu v oblasti, kde nebyla měřena data*

Cílem interpolace výškového modelu v místech, kde nebyla pořízena data terénního reliéfu (vodní plochy, pod budovami a částečně i v hustých vegetačních porostech), bylo interpolovat z nepravidelné sítě okolních blízkých výškových bodů reliéfu body reprezentující výšku v těchto místech. Model byl v této fázi zpracování doplněn o uměle vytvořené body, a to v pravidelné síti 5x5 m zobrazeného souřadnicového referenčního systému UTM/WGS 84 G873.

e) Zjednodušení modelu reliéfu při zachování maximální úplné výškové chyby

Vzhledem ke skutečnosti, že model je po předcházejících úpravách velmi detailní a jednotlivé body mohou být zatíženy drobnými chybami v důsledku nízké vegetace, je dále prováděno ředění bodů reliéfu metodou „hoblování“ vyvinutou firmou Atlas, spol. s.r.o. Při řešení dochází jednak k odstranění nadbytečných bodů a jednak k úpravě výšky bodů, přičemž je povolena maximální úprava výšky o 0,16 m.

f) Odstranění systematické složky měření leteckým laserovým skenerem

Testování absolutní přesnosti výškového měření bylo provedeno na 178 komparačních základnách rozmístěných po celém pásmu Střed. Vyhodnocením absolutní výškové přesnosti leteckého laserového skenování byla zjištěna systematická složka chyby měření po vyrovnání sousedních pásů a bloků v pásmu Střed cH = -0,034 m. Tato systematická chyba byla z dat DMR 5G hromadně odstraněna.

g) Transformace výškových bodů do S-JTSK

Výsledkem jsou georeferencované soubory výškových bodů DMR 5G v nepravidelném gridu (zatímco DMR 4G má pravidelný grid 5x5 m) reprezentované souřadnicemi X, Y v souřadnicovém referenčním systému S-JTSK (realizace S-JTSK/Krovak East North, kdy $X = -Y_{JTSK}$, $Y = -X_{JTSK}$) a výškou H ve výškovém referenčním systému Bpv. (BRÁZDIL a kol., 2012)

3.1.6 Přesnost a kvalita DMR 5G

Naměřené údaje mají samozřejmě svoje limity přesnosti. Hlavními zdroji chyb, které ovlivňují přesnost polohy zaměřeného bodu, jsou:

- měření skeneru (vzdálenost měří s chybou cca 0,02 m a úhly s chybou cca 0,001 – 0,002 gon),
- IMU/GNNS měření (chyba polohy souřadnic X a Y je 8 – 50 cm, Z 8 – 20 cm),
- přístrojové sebeřízení (chyby v posunu a úhlové odchylky mezi tělem IMU a snímačem a ve vektoru mezi GNNS anténou a referenčním bodem IMU).

Dalšími zdroji chyb jsou: divergence paprsku, vliv terénu a vlastností objektů, synchronizace času, transformace souřadnicových systémů, atmosférické refrakce či správnost montáže snímače. (ZEMEK a kol., 2014)

K ověření a definování charakteristik přesnosti a kvality dat DMR 5G byly použity výpočty dvou parametrů, a to systematické chyby cH a úplné střední chyby mH , přičemž byly využity tři zdroje referenčních dat:

a) Soubory kontrolních bodů na komparačních základnách

Parametry přesnosti DMR 5G byly postupně vypočítány na 152 komparačních základnách v pásmu „Střed“, přičemž průměrná hodnota systematické chyby dosáhla velikosti $cH = 0,02$ m (při maximální chybě - 0,22 m) a průměrná hodnota úplné střední chyby $mH = 0,06$ m.

b) Výšky vybraných bodů základního polohového bodového pole (trigonometrických a zhušťovacích bodů)

Cílem řešení bylo ověřit výškovou přesnost DMR 5G na rozsáhlém území a případně odhalit výrazné nehomogenity tohoto modelu. Pro tento účel bylo podle místopisů geodetických bodů vybráno 1026 trigonometrických a zhušťovacích bodů rovnoměrně rozložených po území pokrytém DMR 5G. Byla spočítána systematická chyba $cH = -0,09$ m a úplná střední chyba $mH = 0,20$ m.

c) *Kontrolní geodetická měření realizovaná lokálně pro ověření přesnosti DMR 5G na plochách s různým typem terénu a vegetačního krytu*

Cílem tohoto postupu bylo alespoň na menších vzorcích dat dokumentovat přesnost interpolace výšky bodu z DMR 5G v terénu s různým sklonem, členitostí, vegetačním krytem, zástavbou, nebo s častým výskytem terénních tvarů s hranami v území přetvořeném lidskou činností. (BRÁZDIL a kol., 2012)

Tab. 3: Charakteristiky přesnosti DMR 5G na různém povrchu a půdním krytu (podle BRÁZDIL a kol., 2012)

Kategorie povrchu a půdního krytu	Systematická chyba (m)	Úplná střední chyba (m)	Maximální chyba (m)
Terénní hrany u komunikací	-0,11	0,18	0,66
Zpevněné plochy	-0,09	0,13	0,37
Orná půda	-0,07	0,14	0,56
Louky a pastviny	-0,03	0,21	0,42
Křoviny, stromořadí, lesy	-0,06	0,13	0,40
Průměrná hodnota	-0,07	0,14	0,49

Ověřením přesnosti DMR 5G se také zabývali MIKITA a kol. (2013). Výzkum se zaměřoval na nalezení vhodné metody interpolace v několika variantách postupu. Nejvhodnějším postupem se ukázalo porovnání rozdílu nadmořských výšek jednotlivých pixelů u interpolovaných rastrů, pro který bylo v terénu zaměřeno celkem cca 27 300 bodů. Vyhodnocovanými metodami byly:

- metoda inverzních vzdáleností (IDW),
- metoda minimální křivosti (Spline),
- krigování (Kriging),
- TopoToRaster (TTR),
- Delaunayho triangulace (TIN),
- metoda přirozeného souseda (NN).

Pro použití dat s vysokou hustotou bodů na m² je optimální použití metody přirozeného souseda, případně TIN a krigování (Tab. 2).

Podle tohoto výzkumu vykazuje nový model až třikrát větší přesnost než starší modely výškopisu. Zpracovatel dat deklaruje parametry úplné střední chyby RMSE

0,18 m na plochách bez vysoké souvislé vegetace a 0,30 m na plochách s vysokou vegetací. Tyto parametry model s přehledem splňuje. V lesních porostech však mohou vznikat lokální nepřesnosti až 1 m.

Tab. 4: Porovnání rozdílů nadmořských výšek interpolovaných rastrů z dat DMR 5G a tachymetricky zaměřených bodů v lesním porostu (MIKITA a kol., 2013)

Interpolace	IDW	Spline	Kriging	TTR	TIN	NN
Počet bodů	27293	27293	27293	27293	24117	24117
Maximum	1,240	2,819	1,044	0,930	1,580	0,965
Minimum	-1,103	-1,732	-0,930	-0,819	-0,794	-0,849
Suma odchylek	6756,81	5792,38	5802,45	6212,56	6173,90	5414,47
Systematická chyba	0,248	0,212	0,213	0,228	0,256	0,224
Směrodatná odchylka	0,222	0,279	0,158	0,157	0,156	0,147
RMSE	0,332	0,350	0,265	0,277	0,300	0,269

3.2 Kras a krasové jevy

3.2.1 Kras

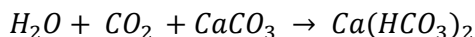
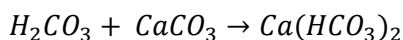
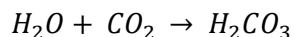
Kras je termín, který pojmenovává zvláštní druh krajiny zahrnující jeskyně a rozsáhlý podzemní vodní hydrologický systém, který vzniká především na rozpustných horninách, jako je vápenec, mramor a sádrovec. Rozlehlá území bez ledu na zemské pevnině leží na krasovém podloží vznikajícím na uhličitánových horninách, přičemž zhruba 20 – 25 % lidské populace je převážně nebo zcela závislé na z nich získaných podzemních vodách (*Obr. 6*). Tyto zdroje jsou pod vzrůstajícím tlakem a naléhavě potřebují obnovující a udržitelný management. Slovo „kras“ je indoevropského původu. Je odvozen od slova „karra/gara“ znamenající „kámen“, jehož odvozeniny nalezneme v mnoha jazycích Evropy a Středního Východu.

Kras můžeme definovat jako terén zahrnující osobitou hydrologii a krajinné útvary, které vznikají kombinací vysoké rozpustnosti hornin a dobře vyvinuté sekundární pórovitosti. Tyto oblasti jsou typické výskytem propadání toků, jeskyní, uzavřených depresí, varhanovitými skalními výchozy a velkými prameništi. (FORD, WILLIAMS, 2007)

3.2.2 Vznik krasu

Krasovými horninami důležitými pro jeho vznik jsou především vápence, dolomity, křída, spraše, sůl, sádrovec a klastické horniny s karbonátovým tmelem. Působením vody i mechanických pochodů vznikají za vhodných fyzikálních a klimatických podmínek krasové jevy.

Chemická podstata vzniku krasu:



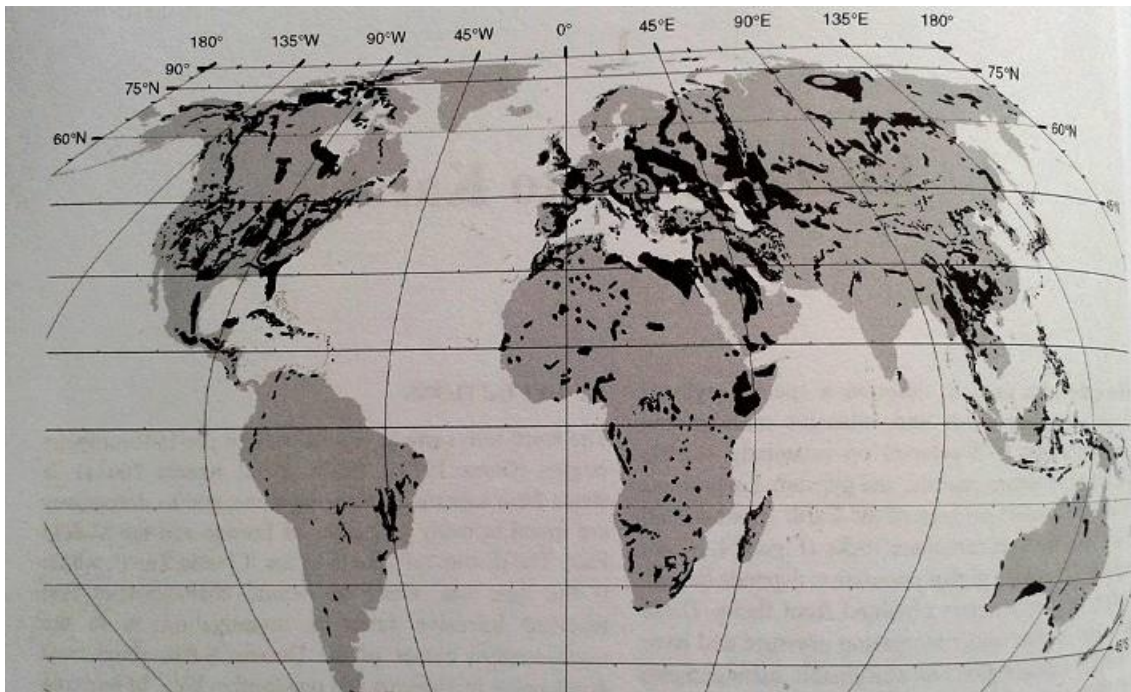
(GRYGAR, JELÍNEK, 2015, LOUCKÁ, 2002)

Samotná značná rozpustnost hornin nestačí sama o sobě vytvářet kras. Důležitou roli hrají také struktura a litologie: husté, masivní, ryzí a hrubozrnné horniny utváří ten nejlepší kras. Rozpustné horniny s extrémně vysokou primární pórovitostí (30 – 50 %) tvoří obvykle slabě vyvinutý kras. (FORD, WILLIAMS, 2007)

3.2.3 Druhy krasu

Kras dělíme primárně na oblast eroze a oblast ukládání (*Obr. 7*). V oblasti eroze probíhají pohyby krasových hornin samotným rozpouštěním a rozpouštěním fungujícím jako spouštěcí mechanismus pro další procesy. V zóně ukládání, která se vyskytuje především v příbřežních nebo okrajových přílivových oblastech, vznikají nové krasové horniny. Další dělení krasu je na:

- **exokras** – zahrnuje útvary na zemském povrchu,
- **endokras** – zahrnuje jevy vytvářející se pod povrchem, dále ho dělíme na hyperkras a hypokras,
- **kryptokras** – vyvinul se skrz propustné vrstvy sedimentů jako hlíny, til, periglaciální nánosy a zbytky jílu.

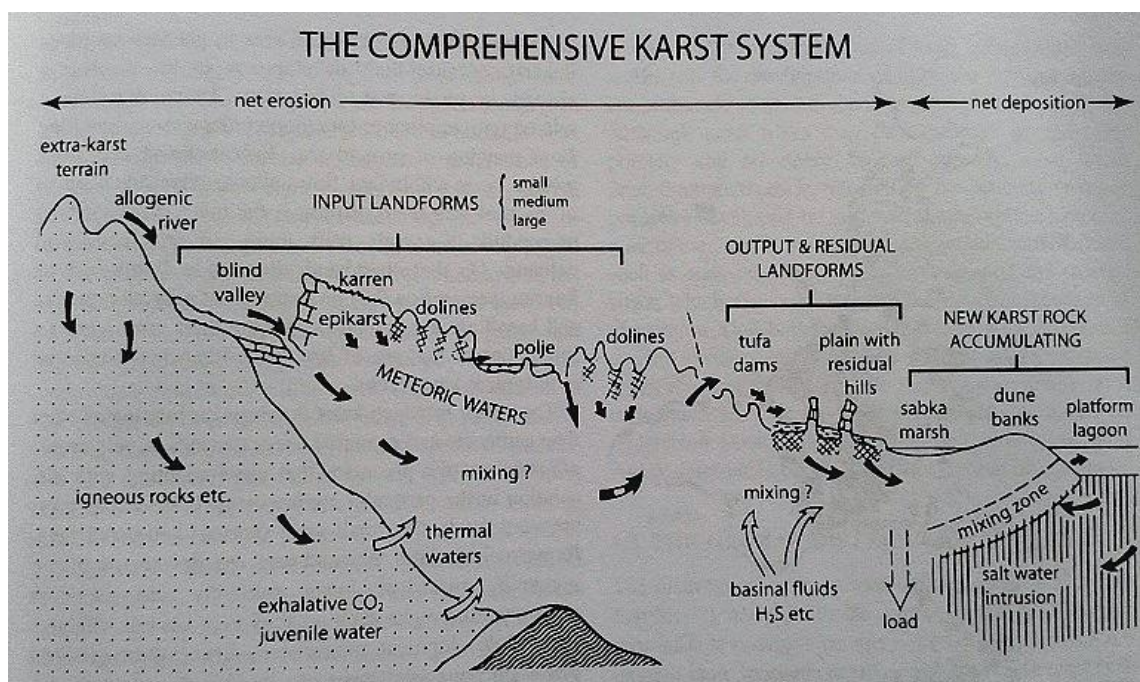


Obr. 6: Rozšíření výchozů karbonátových hornin na Zemi (FORD, WILLIAMS, 2007)

Dále můžeme jmenovat některé specifické druhy krasu:

- paleokras,
- reliktní kras,
- pseudokras,
- termokras,
- vulkanický kras.

(FORD, WILLIAMS, 2007)



Obr. 7: Komplexní krasový systém a jeho hlavní jevy vyskytující se v aktivním krasovém terénu (FORD, WILLIAMS, 2007)

GRYGAR a JELÍNEK, (2015) uvádějí tyto druhy krasu:

- holý,
- přikrytý – Moravský kras,
- podzemní,
- pohřbený,
- exhumovaný.

3.2.4 Primární krasové jevy

Dělíme je dále na povrchové (škrapy, škrapová pole, závrtý, kaňony, úvaly, propasti, vyvěračky, ponory, hltače, krasová jezírka, krasové polje, geologické varhany) a podpovrchové (jeskyně, chodby, komíny, ponorné vodní toky, krasové kapsy). (GRYGAR, JELÍNEK, 2015, LOUCKÁ, 2002, SPRÁVA JESKYNÍ ČR, 2015)

3.2.5 Sekundární krasové jevy

Tvoří výplň primárních krasových jevů. U povrchových je to travertin (pěnovce) a u podpovrchových sintr (krápníky, brčka, závoje jeskynní perly, travertinové hrázky), různé krápníkové formy, minerální výplně (speleotémy) a jiné sedimenty. (GRYGAR, JELÍNEK, 2015, LOUCKÁ, 2002, SPRÁVA JESKYNÍ ČR, 2015)

3.2.6 Závrt

Jde o nejčastěji o nálevkovité nebo miskovité deprese eliptického či kruhovitěho tvaru o různém poloměru (metry i stovky metrů). Vznikají v místech, kde jsou rozrušeny vápence pukáním, těmito puklinami vniká voda a narušuje skalní povrch a rozpouští ho. Takto narušené skály na povrchu sedají a vzniká dolík nebo nálevkovitá či miskovitá prohlubeň. Dno závrtu může být otevřeno nějakou dutinou (ponor, komín, trhlina) nebo je zaneseno zvětralinami. (GRYGAR, JELÍNEK, 2015, LOUCKÁ, 2002)

Průměr závrtu při pohledu shora se pohybuje od několika metrů do zhruba 1 km. Jejich stěny mohou být mírně svažující se nebo až kolmé a několik až stovky metrů hluboké. Vznikají mnoha různými procesy, jako je koroze, hroucení nebo klesání. Tímto způsobem vznikají prohlubně různých tvarů, např. talířovité, nálevkovité či cylindrické. (FORD, WILLIAMS, 2007)

Dělení závrtů:

a) *Podle uzavřenosti:*

- **zejíci** – otevřený dutinou,
- **uzavřený** – zaplněné zvětralinami, sedimenty, ledem, firnem, jílem, červenicí, humusem, spraší, hlínou.

b) *Podle tvaru:*

- **trychtýřovité** – mají svahy se sklonem 30 – 45° a výrazným okrajem vznikajícím korozi a odnosem na křižujících se puklinách,
- **mísovité** – mělké a plošší se sklonem svahů 10 – 12°, s oválným půdorysem a nerovným dnem a poměrem hloubky k průměru cca 1:10,
- **stupňovité** – jsou to svislé nebo šikmé přírodní šachty, často ústící do jeskyní
- **řícené** – vznikají zřícením stropu jeskyně, která se nacházela pod závrtem, mají strmé stěny,
- **ponorové** – jsou trychtýřové prohlubeniny na dně polí pokryté zvětralými a hlinitými sedimenty, tvořící se v místech ponorů. (GRYGAR, JELÍNEK, 2015, LOUCKÁ, 2002)

c) *Podle vzniku (Obr. 8):*

- **solution dolines (disoluční)**

Mívají miskovitý tvar, který je způsoben poklesem velkého množství horniny v jejich středu, tato skutečnost indikuje přítomnost přirozeného jevu – rozpouštění (koroze), přičemž pohyb horniny je ovlivněn koncentrací rozpuštěné látky a odtokem. Ty mohou mít různý podíl vlivu v různých případech. Vliv může mít také druh vápence nebo klima. Pokud není koroze dostatečně rozvinutá, mohou se na vzniku těchto závrťů významněji podílet prostorové podmínky v lokálních hydrologických poměrech.

- **collapse dolines (řícené)**

Tyto závrtky mají obvykle strmější stěny vzhledem k jejich ploše než disoluční. Avšak tyto svahy se smyvem drolí na dno, takže tvarem mohou připomínat disoluční a může dojít k jejich záměně. Pouze jejich odkrytí může určit jejich skutečný původ. Hroucení se může objevit na kompaktním podloží, na těsnící vrstvě nad krasovým podložím a na vrchním nezpevněném sedimentu. Na hroucení se podílejí tyto tři hlavní mechanismy:

- a) koroze shora, která oslabuje klenbu stropu jeskyně,
- b) hroucení zdola, která rozšiřuje a intenzivně oslabuje klenbu stropu jeskyně (v horninách nebo nezpevněných sedimentech),

- c) odstranění podpory podzemní vody pomocí vztlaku, které vyvolá účinné zatížení stropu, jehož pevnost je tak překročena.

- **dropout doline (klesající)**

V ideálním případě povrch a podpovrchové vrstvy postupně klesají dolů bez zjevného narušení hornin, přestože k němu dochází vždy. V tom spočívá rozdíl oproti říceným závrtům, kdy je přímo viditelné porušení hornin typické. Klesání podzemních dutin může probíhat v různém měřítku. V případě malých hloubek je dutina na rozhraní horniny a půdy. Nepravé poklesy, které mají rozlohu více než stovky hektarů, vznikly v důsledku injektážní těžbou povrchových zásob soli. V mnohem větším měřítku vznikají rozpouštěním průhyby neuvěřitelných hloubek. Tento proces je vázaný na horninové prostředí evaporitu.

- **buried dolines (pohřbené)**

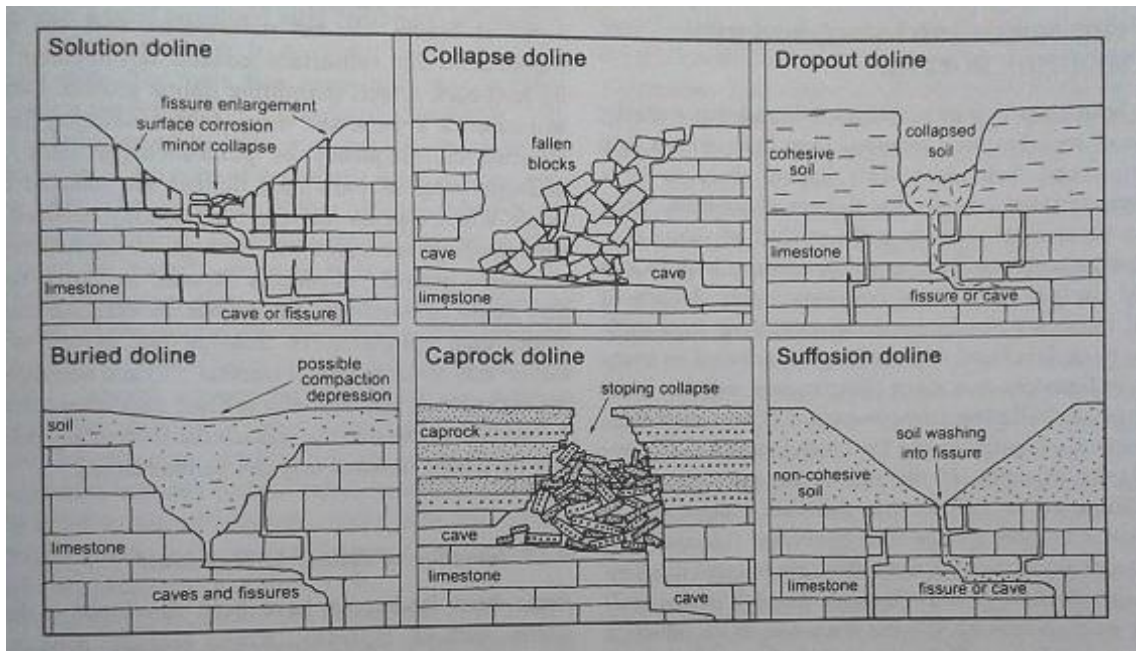
Jde v podstatě o klasický disoluční závrt, avšak zanesený různým půdním materiálem. Na povrchu může být patrný jemný průhyb poukazující na existenci deprese pod vrstvou půdy.

- **caprock dolines**

Tyto závrtky jsou v podstatě podobného typu jako řícené. Vznikají v místech, kde se nad vrstvou měkké horniny nachází tvrdší, která zamezuje či eliminuje zvětrávání.

- **suffosion dolines (sufozní)**

Vzniká prosakováním přes silné vrstvy nezpevněného regolitu nebo alogenní detrit na krasových horninách, kdy jsou malé částice přemísťovány přes kapiláry v krasovém podloží kombinací fyzikálního smyvu a chemického rozpouštění. Prosakování vody přes regolit vytváří dlouhé prohlubně podobné drážkám (tzv. karren) a rozšiřující se propojení s hlubšími dutinami. Sufoze potom způsobuje zapouštění povrchu v podobě drobných prohlubní. (FORD, WILLIAMS, 2007)



Obr. 8: Rozdělení závrtů (FORD, WILLIAMS, 2007)

Závrtý se mohou vyskytovat jako roztroušené izolované jedinci, jako roztroušené shluky jedinců, nahloučené skupiny nebo nepravidelně rozmístěné linie podél alogenických narušených okrajů a údolních bezvodých systémů. V humidních tropických a temperátních zónách někdy deprese zcela pokrývají zemský povrch tak, že zabírají veškerý dostupný prostor. Při pohledu shora krajina připomíná plato na vejce s předěly mezi jednotlivými závrtými tvořící vzor buněčného pletiva. Tento typ krasu byl poprvé popsán na ostrově Papua Nová Guinea, kde byl pojmenován jako tzv. polygonální kras. Objevuje se však v mnoha dalších karbonátových krasech jako např. v Karibiku, USA, Novém Zélandu (Obr. 9), Tasmánii, Číně (Obr. 10), Bosně a Hercegovině a Turecku. Objevuje se také v terénech s evaporitickými horninami, kde poukazuje na jejich vysokou hustotu a stejnorodost. (FORD, WILLIAMS, 2007)



Obr. 9: Polygonální kras v Craigmore na Jižním ostrově, Nový Zéland (Zdroj: http://www.davidwallphoto.com/detail/10145-Sinkholes,-Craigmore,-Maungati,-near-Timaru,-South-Canterbury,-South-Island,-New-Zealand-_-aerial.html)



Obr. 10: Xiaozhai tiankeng – říční závrt o šířce přes 0,5 km při horním okraji, Chongqing, Čína (Zdroj: <https://www.pinterest.com/pin/107875353544328569/>)

3.2.7 Závrtý na území CHKO Moravský kras a jejich výzkum

Na území CHKO Moravský kras nalezneme několik typických geomorfologických jevů – náhorních plošin, které jsou rozčleněny hlubokými údolími – žleby. Mezi Pustým a Suchým žlebem nalezneme Ostrovskou plošinu, mezi Suchým a Lažáneckým žlebem leží plošina Harbešsko-Vilémovická. Mezi Lažáneckým žlebem a tzv. říčmanicko-ochozskou elevací se rozkládá rozsáhlá plošina rozdělená žlebem Křtinského údolí na dvě části – Babickou a Rudickou plošinu. Další významnou plošinou je Hádecká. Na těchto plošinách se často setkáváme s desítkami ojedinělých závrtů i jejich skupin. (AOPK ČR, 2016) Nejčastějším typem závrtů na Moravském krasu jsou trychtýřovité či mísovité vzniklé řícením nebo disolucí.

Mezi významné závrtý patří:

- *na Ostrovské plošině:*
 - **Cikánský závrt** – v roce 1969 se stal východiskem pro objevy v systému Amatérské jeskyně,
 - **Měšiny a Dolina** (průměr 164 a 166 m) – jsou největšími závrtý v Moravském krasu,
 - **Městikád'** – má průměr 106 m, je třetím největším závrtem, stal se také výchozím místem pro průzkum Amatérské jeskyně, šachta z něj vede do Říceného dómu,
 - **Hedvábná uvala** – jde o jev, kdy jsou závrtý tak blízko k sobě, že časem splynou a vytvoří sníženinu,
 - **Meisselův (Jalový) závrt, Hluboký závrt, Chlupatý závrt, Dámský závrt, závrt Maruška.**

- *na Harbešsko-Vilémovické plošině:*
 - **Lažánecké závrtý** – 22 závrtů,
 - skupina **Společňák** – 15 závrtů,
 - **Lampoša, Cihelna, Kajetánův závrt, Kubův závrt,**
 - dvojzávrt **U Svážné studny** – v Lažáneckém žlebu.

- *na Rudické plošině:*
 - závrtová pole související s podzemním komplexem Rudické propadání – Býčí skála.

- *na Babické plošině:*
 - skupina **Zadní pole** – v minulosti byly závrtky zavezeny, aby mohla být plocha zemědělsky využívána, dnes v rámci programu SAPARD, spočívajícím v zatravnění ploch nad jeskyněmi Moravského krasu, se závrtky postupně obnovují,
 - **Malá Macocha** (*Obr. 11*) – jde o opuštěný důl na železnou rudu těžbou v několika úzkých vertikálních propastech (tzv. geologické varhany) zhruba do hloubky 42 m, těžba probíhala na přelomu 18. a 19. století, toto místo je tvořeno třemi vzájemně propojenými závrtky o hloubce cca 8 m a průměrem 40 m,
 - **Pod Bílou skálou** – jde o podobný jev jako v případě Malé Macochy, těžba zde probíhala také na přelomu 18. a 19. století, nalezneme zde rýhu dlouhou zhruba 100 m, není známo, do jaké hloubky se zde těžilo, dnes má deprese hloubku cca 8 m. (MAS MORAVSKÝ KRAS, ©2008-2009)

- **Wanklův závrt** – nachází se v Holštejnském údolí, vznikl v roce 1855, jde o klasický řícený závrt, propadnutí bylo podle zpráv pamětníků poměrně hlučné, vznikla při něm deprese o hloubce 22 – 24 m a průměru 13, nebyl zde však objeven žádný vchod do podzemí, časem bylo dno zaneseno a dnes má hloubku menší než 4 m (WIKIPEDIA, 2016).

Jednou za několik let dojde ke vzniku nového závrtu, jako tomu bylo např. v roce 2014 nedaleko jeskyně Balcarka u obce Ostrov u Macochy (*Obr. 12*). Takto nově vzniklý závrt s bude ještě dále morfologicky vyvíjet (BLANENSKÝ DENÍK, 2014).



Obr. 11: Vlevo - Malá Macocha dnes, vpravo - Malá Macocha na dobové fotografii (KŘÍŽ, KOUDELKA, 1940)



Obr. 12: Závrt vzniklý v roce 2014 u Ostrova u Macochy (BLANENSKÝ DENÍK, ©2014)

3.2.8 Těžba železné rudy a vápence v oblasti CHKO Moravského krasu související s výskytem závrťů

Těžba železné rudy a vápence probíhá na území CHKO Moravský kras zhruba od 8. století. Zpočátku se jednalo o povrchovou těžbu a sběr valounů, to se dělo hlavně v místech závrťů, škrapů a skalních výchozů, kde na povrch zřetelně vystupovaly odhalené kusy hornin. Jde například o okolí Olomučan, Rudic a Hamrů. S těžbou a zpracováním železa souvisí těžba převážně bukového dříví a pálení na dřevěné uhlí v milířích, které byly postaveny například v Bukovině, Bukovince či Habrůvce. Dřevěné uhlí se pak používalo na tavení železa v hamrech. Vápno se pálilo například v Holštejně či Babicích. Později došlo též na těžbu hlubinnou. A to například na Malé Macoše (*Obr. 11*), Pod Bílou skálou, na Žergově či Panských boudách. Drobné povrchové dobývky nalezneme například na Rudické a Babické plošině. Těžba výrazně ovlivnila ráz krajiny Moravského krasu. (VAHALA, 1963) V současnosti probíhá těžba mikromletého vápence na lomu Ochoz 1 a lomu Mokrý-Horákov, který detonacemi ohrožuje stabilitu Hoštěnického propadání a Ochozské jeskyně. Pracuje se na zavedení šetrnější těžby a zachování ochranného pásma mezi lomem a ohroženými lokalitami Moravského krasu. (AOPK ČR, 2016)

3.3 Příklady zahraničních studií identifikace krasových jevů

Jako podklad pro zvolení vhodné metodiky identifikace závrťů byly použity studie a výzkumy řady zahraničních odborníků, kteří se touto problematikou zabývají již několik let. V České republice zatím nebyl aplikován žádný z těchto postupů, přestože se zde nachází několik významných krasových oblastí.

Příklady zahraničních výzkumů:

První ze zmíněných výzkumů probíhal v oblasti západního Maroka a zabývala se studiem povrchových krasových jevů, pomocí různých satelitních dat a výpočtů v GIS. Tato metoda se skládá z těchto kroků:

- a) morfometrická analýza zkoumaného území založená na výškopisu získaného na základě družicového radarového průzkumu,
- b) vizuální soupis a mapování depresí a krasových útvarů pomocí leteckých snímků a satelitních digitálně upravených snímků o vysokém rozlišení,
- c) detekce oblastí s relativně vysokou hladinou podzemní vody na základě překrytí vrstev faktorů ovlivňujících výstup povrchové vody na zemský povrch,
- d) detekce útvarů s možným vztahem k podpovrchovým strukturám jako např. porušení povrchu, zlomy a průhyby. (THEILEN-WILLIGE, MALEK, EL BCHARI, CHAĪBI, 2014)

Autorem další studie je DENIZMAN (2003), který se touto problematikou zabýval v pánevní oblasti řeky Suwannee na Floridě. Smyslem studie bylo přesně určit morfometrické rozměry jednotlivých depresí, požadované parametry byly v GIS spočítány pomocí euklidovských funkcí.

Podobný výzkum pod názvem Interstate 66 byl realizován v krasové oblasti amerického státu Kentucky. Jeho cílem bylo propojení dosud dostupných databázových dat s mapovými podklady a vytvoření souhrnné vektorové vrstvy. Prvním vstupem je databáze těchto informací, druhým naskenované a georeferencované mapy jeskynních systémů (z nich byly vyjmuty ty oblasti, kde se jeskyně vyskytují těsně pod povrchem). Třetí vrstvou jsou polygony s výskytem depresí. Výsledkem je vektorová vrstva obsahující

všechny dostupné a získané informace. (FLOREA, PAYLOR, SIMPSON, GULLEY, 2002)

Další studie pochází z oblasti Gypsum Plain v Novém Mexiku a Texasu. Byla zaměřena na zhodnocení a porovnání různých datových zdrojů (leteckých a družicových snímků, digitálních modelů terénu) a způsobů identifikace krasových jevů. (STAFFORD, ROSALES-LAGARDE, BOSTON, 2008)

Jeden z nejnovějších výzkumů proběhl v oblasti vojenské základny Fort Hood v Texasu. Zde byly vyhodnoceny možnosti využití dat z LIDARU pro identifikaci krasových jevů. Tato metodika je podrobně popsána v kapitole 5.2 a byla vybrána a použita pro účely této diplomové práce jako nejvhodnější. (STAFFORD, SHAW-FAULKNER, BROWN, 2013)

V neposlední řadě je třeba také zmínit studii z oblasti slovinského krasu. Zde byl pro identifikaci depresí využit DMT s rozlišením buněk 25 x 25 m a následně aplikována funkce *Sink* v programu ArcMap. Vyskytla se však značná chybovost u specifických povrchových tvarů. Tento postup byl také použit v této diplomové práci jako jedna z ověřovaných metod (viz. kapitola 5.2). (KOMAC, URBANC, 2012)

4. CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ

4.1 Širší územní vztahy

4.1.1 Školní lesní podnik Masarykův les Křtiny

Lokalita, která byla vybrána pro výzkum k této práci, se nachází na území Školního lesního podniku Masarykův les Křtiny (ŠLP). ŠLP je účelovým zařízením Lesnické a dřevařské fakulty (LDF) Mendelovy univerzity v Brně založené roku 1923. Má tři základní poslání:

- poskytovat zázemí posluchačům lesnických a krajinářských studijních programů na LDF,
- zabezpečovat hospodaření s univerzitním majetkem,
- sloužit veřejnosti pomocí rekreačních i ostatních funkcí lesa, realizovat cílené projekty, např. Lesní škola, Jezírko, kulturní akce na zámku ve Křtinách. (ŠLP MASARYKŮV LES KŘTINY, 2016)



Obr. 13: ŠLP Masarykův les Křtiny na mapě širších územních vztahů

4.1.2 Lokalizace

ŠLP nalezneme v Jihomoravském kraji, okresech Brno-město a Blansko (*Obr. 13*). Lesní komplex těsně navazuje na severní okraje města Brna a severně pokračuje až k městu Blansko. Výměra lesních porostů na ŠLP je 10 265 ha. Přibližně z jedné třetiny se patří území do CHKO Moravský kras. (ŠLP MASARYKŮV LES KŘTINY, 2016)

4.1.3 Geomorfologie

Geomorfologické zařazení ŠLP:

Soustava:	Českomoravská
Podsoustava:	Brněnská vrchovina
Celek:	Drahanská vrchovina

Reliéf je tvořen plošinami a výrazně zahluobenými údolími. Na povrchu nalezneme prvky související s přítomností krasu, jako jsou např. závrtý, škarpy, škrapová pole, osaměle vystupující sály, ponory (propadání), vývěry a podzemní jeskyně (viz dále). (AOPK ČR, 2016)

4.1.4 Geologie a pedologie

Nejvýznamnějšími horninami v geologickém podloží jsou granodiorit, kulmské droby a vápenec. Důležitým obdobím v geologickém vývoji je střední devon, kdy se zde vytvořila pánev zalitá mořem a na jejímž dně se usazovaly pískovce, arkózy a slepence. Později, ve středním a svrchním devonu nastaly příhodné životní podmínky pro přisedle žijící živočichy s vápnitými schránkami. Schránky těchto živočichů se staly základním materiálem pro vytvoření vápencového podloží. Z dalších sedimentů jsou významné štěrky, písky, jíly a hlíny.

Půdy jsou zastoupeny těžšími šedými až tmavými šedými rendzinami, glejovými půdami, červenozeměmi a spíše lehčími hnědými lesními půdami. (AOPK ČR, 2016)

4.1.5 Klima

Podle klasifikace klimatických oblastí (QUITT, 1971) patří území ŠLP do teplé oblasti T2 a T4. Klimatické poměry velmi ovlivňuje charakteristický reliéf s náhorními plošinami a hluboce zaříznutými údolími, díky těmto poměrům zde vzniká specifické mikroklima, vytvářející zvláštní podmínky pro různé druhy vzácných organismů.

Teplotní i srážkové charakteristiky jsou poměrně rozdílné mezi severní a jižní částí území, přičemž se nejedná o příliš velkou příčnou vzdálenost. Sever je chladnější a srážkově bohatší, zatímco jižní části jsou sušší a teplejší. Průměrná roční teplota se pohybuje od 6,5 °C do 8,4 °C. Nejchladnějším měsícem je leden (-2,1 °C - -3,7 °C) a nejteplejším červenec (16,2 °C - 18,4 °C). Roční průměrný úhrn srážek je značně proměnlivý. V jižních oblastech dosahuje cca 550 mm, na severu naprší až 700 mm srážek ročně. Případná sněhová pokrývka se vyskytuje zhruba od poloviny listopadu do konce března. Převládající směr větru je severní až severozápadní, druhý nejčastější je východní až jihovýchodní. (ŠLP MASARYKŮV LES KŘTINY, 2016, AOPK ČR, 2016)

4.1.6 Hydrologie

Hydrologické poměry jsou významně ovlivněny přítomností krasových jevů. Hlavním tokem oblasti je řeka Svitava, do které se vlévá několik významných přítoků. Je to např. Punkva, která vzniká soutokem Sloupského potoku a Bílé vody. Oba tyto toky se propadají v ponorech. Tyto toky protékají významným komplexem Amatérské jeskyně, Punkva teče propastí Macocha a Punkevními jeskyněmi. Ve střední části ŠLP jsou významnými toky Jedovnický a Křtinský potok. Jedovnický potok vytváří druhý největší jeskynní systém Moravského krasu – Rudické propadání. Jižní části protékají Ochozský, Hádecký a Hoštěnický potok. (AOPK ČR, 2016)

4.1.7 Vegetace

Na území ŠLP se nalezneme celkem 4 vegetační stupně na rozhraní panonské, hercynské a karpatské biogeografické oblasti, je zde zamapováno 116 lesních typů. Porosty jsou převážně smíšeného charakteru, ze 46 % jsou tvořeny jehličnatými a z 54 % listnatými dřevinami. Hlavními dřevinami jsou smrk, borovice, modřín, dub, buk, habr a postupně se navrácí jedle. Ve zdejších ZCHÚ, kterých zde vzniklo celkem 19 na 862 ha, nalezneme poměrně velké množství vzácných i běžně se vyskytujících druhů koncentrovaných na vcelku malých plochách, což je velmi nápadný rozdíl v druhové pestrosti oproti okolnímu území. Z významných chráněných druhů zde roste např. koniklec velkokvětý (*Pulsatilla grandis*), kosatec nízký (*Iris pumila*), hadinec nachový (*Echium maculatum*), lýkovec jedovatý (*Daphne mezereum*), sasanka hajní (*Anemone nemorosa*), konvalinka vonná (*Convallaria majalis*), kokořík mnohokvětý (*Polygonatum multiflorum*), jaterník trojlaločný (*Hepatica nobilis*), černýš hajní (*Melampyrum nemorosum*), kostřava sivá (*Festuca pallens*), kyčelnice devítelistá (*Dentaria enneaphyllos*), bažanka

vytrvalá (*Mercurialis perennis*), bukovník kaprad'ovitý (*Gymnocarpium dryopteris*), kaprad' samec (*Dryopteris filix-mas*), jelení jazyk celolistý (*Phyllitis scolopendrium*), vranec jedlový (*Huperzia selago*), bledule jarní (*Leucojum vernum*), sněženka podsněžník (*Galanthus nivalis*), ostřice (*Carex sp.*) atd. (ŠLP MASARYKŮV LES KŘTINY, 2016, AOPK ČR, 2016).

4.1.8 Fauna

Na ŠLP se vyskytuje řada vzácných i méně vzácných živočišných druhů jak bezobratlých, tak obratlovců. Jádrem pestrosti živočichů je především část ŠLP náležící do Moravského krasu. Zde můžeme živočichy zařadit do společenstev:

- teplomilných keřových a travinobylinných porostů,
- skal, skalních ostrožen a sutí,
- lesů,
- údolních niv,
- propasti Macocha,
- jeskyní,
- pramenů a potoků.

Významnými vyskytujícími se živočichy jsou např. jeskynní chvostoskoci a roztoči a také 21 druhů netopýrů. Z ptactva je významný výskyt výra velkého (*Bufo bufo*), ťuhýka obecného (*Lanius collurio*), čápa černého (*Ciconia nigra*), konipase horského (*Motacilla cinerea*), ledňáčka říčního (*Alcedo atthis*), holuba doupňáka (*Columba oenas*), sýce rousného (*Aegolius funereus*) či krkavce velkého (*Corvus corax*). V poslední době zcela vymizel v minulosti se vyskytující skalník zpěvný (*Monticola saxatilis*) a sokol stěhovavý (*Falco peregrinus*). Běžně se setkáme s ještěrkou zelenou (*Lacerta viridis*). Z větších savců narazíme např. na tyto druhy: kuna skalní (*Martes foina*), liška obecná (*Vulpes vulpes*), srnec obecný (*Capreolus capreolus*), prase divoké (*Sus crofa*), jezevec lesní (*Meles meles*), muflon (*Ovis musimon*), vzácněji se vyskytuje jelen evropský (*Cervus elaphus*). Z drobnějších savců zde nalezneme např. myšici lesní (*Apodemus flavicollis*), norníka rudého (*Clethrionomys glareous*) či rejska obecného (*Sorex anareus*). (AOPK ČR, 2016)

4.1.9 Hospodářská činnost na ŠLP

Lesy na ŠLP spadají do kategorie lesů zvláštního určení, jejich dalším účelem je sloužit LDF jako prostor k výuce, výzkumu a na ně navazujících realizaci projektů či závěrečných prací. Vzhledem k tomu jsou zde aplikovány nejnovější trendy v oblasti lesního hospodářství, myslivosti, krajinářství a dřevařství. Významný je přínos estetické funkce lesa, budují se zde studánky, na vyvýšeninách jsou výhledy, v lesních úsecích pa-louky s výsadbou cizokrajných dřevin a jsou realizovány různé krajinářské úpravy. Byl zde vytvořen soubor zhruba 70 památníků, studánek a pamětních desek nesoucí název Lesnický Slavín. Jde o světový unikát vyjadřující poctu českým významným lesníkům, umělcům věnujícím se přírodě, stromům, zvěři i lesu samotnému.

Nejproduktivnějšími jsou porosty buku a modřínu, v dospělosti překračuje jejich porostní zásoba $1\ 000\ \text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. K hospodaření s lesním porostem je přístupováno jemnějším způsobem, než je běžné. Minimalizují se holoseče a je maximálně využívána přirozená obnova podrostním způsobem hospodaření. Na některých lokalitách je usilováno o převod na les výběrný.

Velmi dobře je řešeno zpřístupnění lesa pomocí moderní lesní dopravní sítě. Mechanizace je řešena v rámci výzkumu na stanici ve Křtinách, jeho výsledkem jsou např. lesní lanovky LARIX typu 550, 3T, Hydro a Kombi či lanovkový vozík MOKO. Dále ŠLP provozuje pilu v Olomučanech, zařízení dřevařské druhovýroby v Josefově a v Útěchově, školkařské středisko v Olomučanech a Adamově.

Přímo na ŠLP jsou dvě honitby – honitba ŠLP Křtiny a Hády, dále je v jeho držení a užívání mimo území ŠLP také obora Sokolnice a bažantnice Rajhrad. Území je rozděleno na tři polesí – Vranov u Brna, Habrůvka a Bílovice nad Svitavou. (ŠLP MASARYKŮV LES KŘTINY, 2016)

4.2 Podrobná charakteristika zájmové lokality

Zájmové území koresponduje s katastrálními hranicemi obce Babice nad Svitavou (*Obr. 14*). Toto území se rozkládá na Babické plošině, která je jednou z nejméně prozkoumaných krasových plošin Moravského krasu. Má ploch zhruba 9 km², průměrná nadmořská výška se pohybuje okolo 500 m n. m. Severovýchodní hranice prochází údolím Křtinského potoka, na východě Březinským údolím Ochozského potoka, na jihu údolím potoka Časnýř, západní hranici tvoří geologická hranice vápenců a granodioritů nad údolím řeky Svitavy.

Geologicky je vybudována devonskými vápenci a to především lažaneckými a vilémovickými, dále zde nalezneme granodiority a nejružnější skalní sutě, sprašové a svažité hlíny, usazeniny a sedimenty (*Obr. 15*). Z půd zde nalezneme různé druhy kambizemí, regozemí a luvizemí (*Obr. 16*). (ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA, 2016)

Na území Babické plošiny se nachází několik MZCHÚ. Jsou to přírodní rezervace (PR) Dřínová, Čihadlo, přírodní památka (PP) Kněžnice a národní přírodní rezervace (NPR) Býčí skála. PR U Výпустku a Březinka jsou mimo k.ú, ale rovněž jsou součástí Babické plošiny (*Obr. 17*).

- **PR Dřínová**

Předmětem ochrany jsou povrchové krasové jevy a přirozené porosty suťových lesů, bučin a doubrav s dřínem na styku vápenců a brněnské vysočiny. Chráněnými ekosystémy jsou L4 suťové lesy, L5 bučiny, L3.1 hercynské dubohabřiny, L6.1 perialpinské bazifilní teplomilné doubravy a dále škrapy a skalky. (AOPK ČR, 2012)

- **PR Čihadlo**

Předmětem ochrany jsou listnaté lesy na devonských vápencích a sprašových pokrývech, povrchové a podzemní krasové jevy. Mezi chráněné ekosystémy zde patří L3 suťové lesy, L5 bučiny, L3.1 hercynské dubohabřiny, L6.1 perialpinské bazifilní teplomilné doubravy a S3B jeskyně nepřístupné veřejnosti. (AOPK ČR, 2012)

- **PR Březinka**

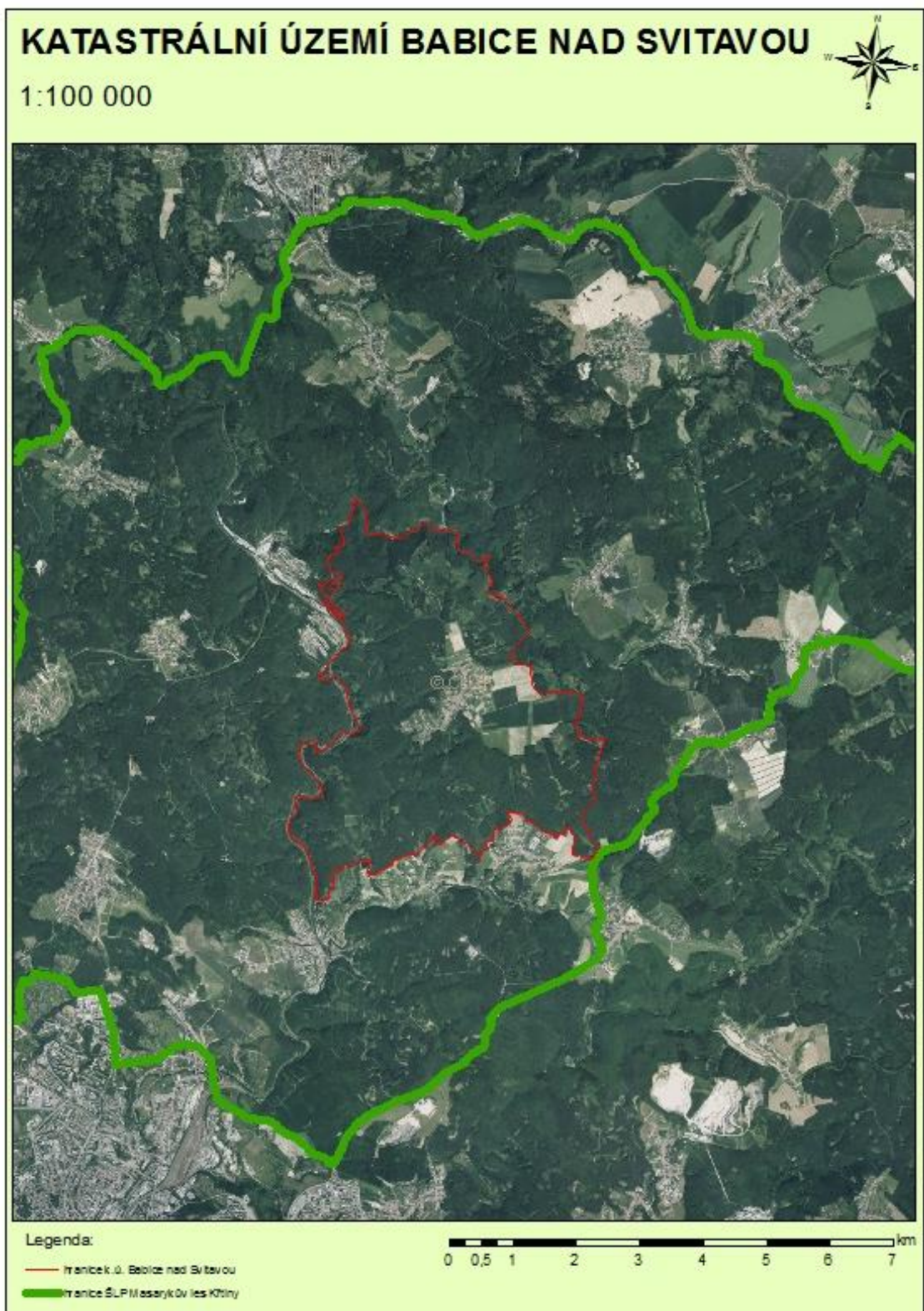
Předmětem ochrany je přírodě blízký lesní porost na škrapových polích vyšších poloh Moravského krasu. Chráněným ekosystémem jsou L5.1 květnaté bučiny a dále útvary neživé přírody škrapy a skalky. (AOPK ČR, 2012)

- **NPR Býčí skála**

Předmětem ochrany NPR Býčí skála jsou duhově bohatá přírodní společenstva dubového, buko-dubového, dubovo-bukového a bukového LVS vzniklá především působením přírodních sil v údolí Křtinského potoka ve střední části Moravského krasu a dále krasové jevy a jeskyně. Chráněnými ekosystémy zde jsou L4 suťové lesy, L5 bučiny, L3.1 hercynské dubohabřiny a S3B jeskyně nepřístupné veřejnosti. (AOPK ČR, 2012)

- **PP Kněžnice**

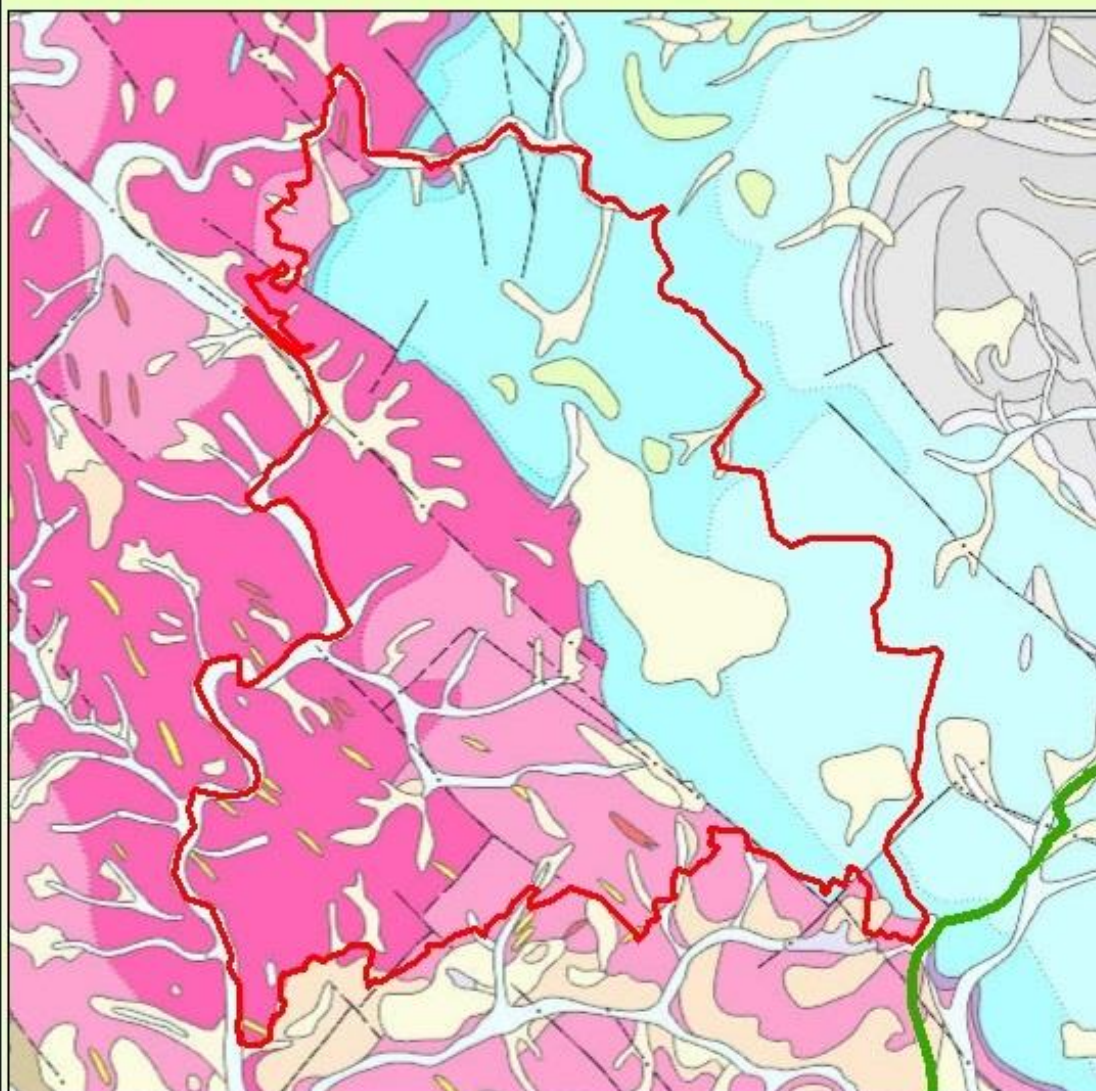
Předmětem ochrany PP Kněžnice jsou přirozené lesní porosty na skalnatém podkladě devonských vápenců. Chráněnými ekosystémy jsou L3.1 hercynské dubohabřiny, L4 suťové lesy a S1.2 štěrbinová vegetace silikátových skal a drošin. (AOPK ČR, 2010)



Obr. 14: Katastrální území obce Babice nad Svitavou a jeho poloha na území ŠLP Křtiny







GEOLOGICKÉ POMĚRY






1:50 000



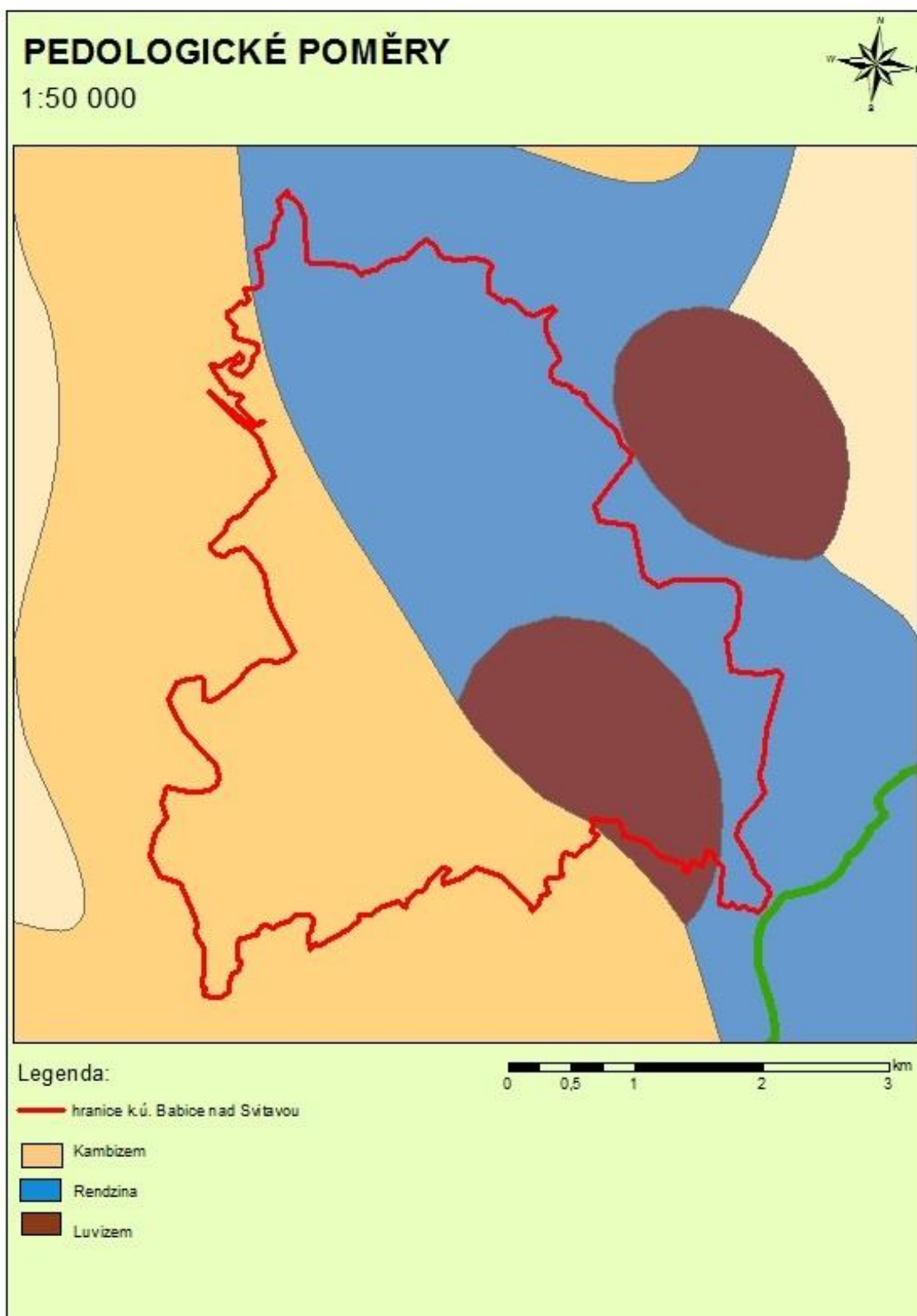
Legenda:

0 0,5 1 2 3 km

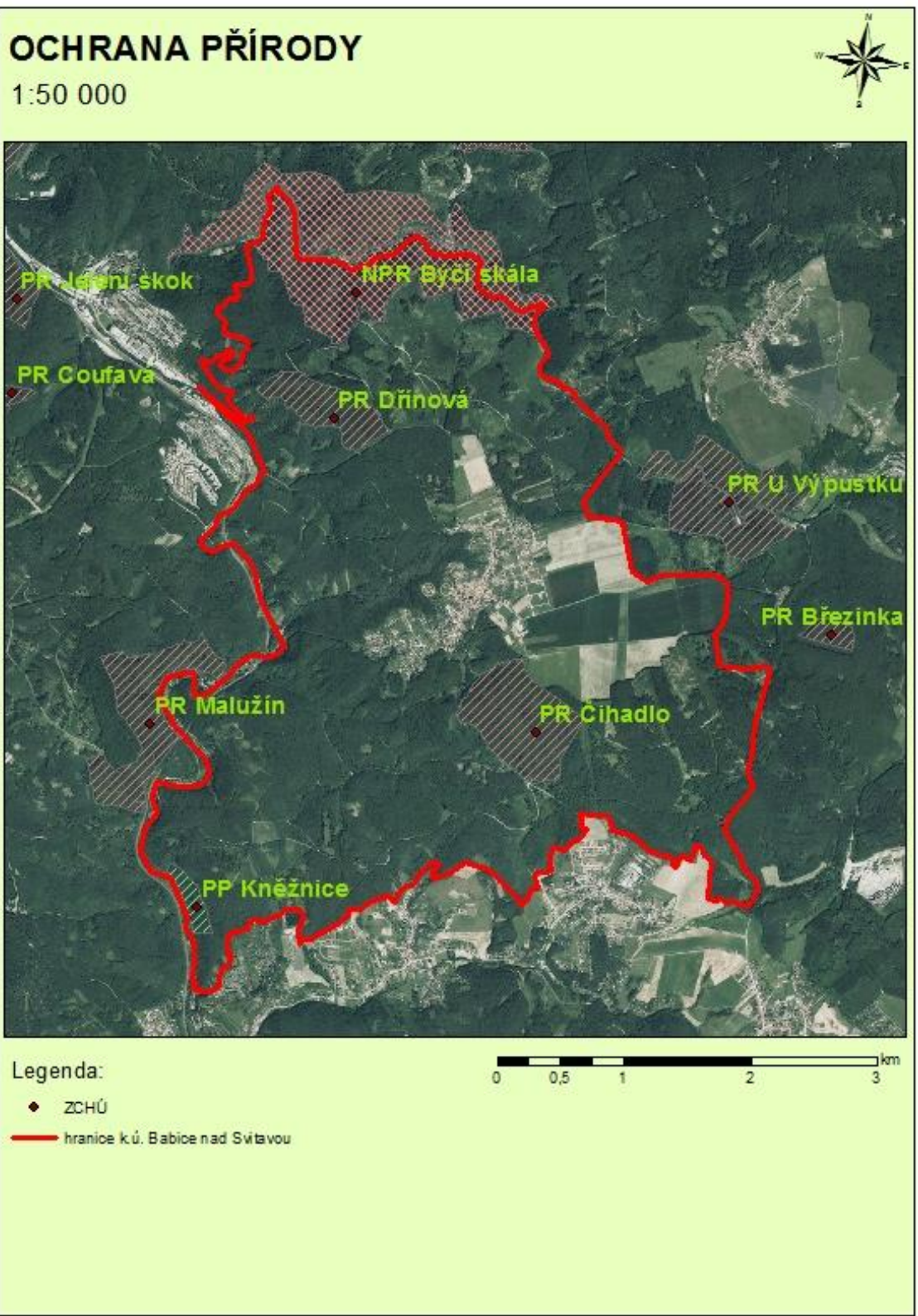
-  hranice k.ú. Babice nad Svítavou
-  amfibol biotický granodiorit
-  biotický granodiorit
-  porfyr granitový
-  vápenec, dolomit
-  vápenec

-  aplit, pegmatit
-  spraš, sprašová hlína
-  písčito-hlinitý až hlinito-písčitý sediment
-  jíl kaolinický, písek
-  arkóza, slepenec

Obr. 15: Geologické poměry



Obr. 16: Pedologické poměry



Obr. 17: MZCHÚ na Babické plošině

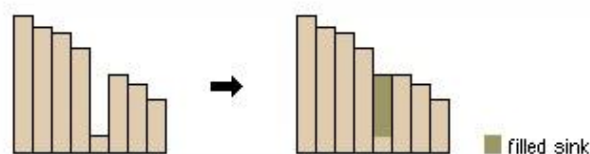
5. METODIKA

5.1 Použité datové zdroje

Letecké skenování zájmového území v rámci tvorby nového výškopisu bylo provedeno v roce 2013. Do doby zpracování diplomové práce nebyla data doposud zpracována a dodána k distribuci. Pro analýzu byly proto objednána surová data leteckého skenování od ČÚZK ve formátu LAS, která byla následně zpracována do podoby rastrového digitálního modelu terénu s rozlišením 1 m v softwaru ArcGIS 10.3, ve kterém probíhaly i veškeré následné analýzy.

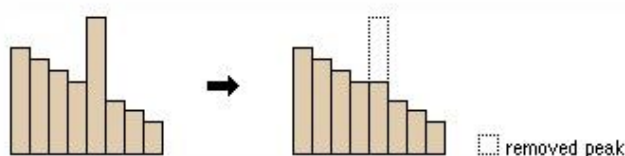
5.2 Identifikace závrťů v prostředí ArcGIS

Výchozím zdrojem pro vytvoření metodiky výpočtu byl použit výzkum uskutečněný v oblasti východního Texasu v USA, kde byly závrty identifikovány pomocí výpočtu terénních depresí. STAFFORD (2013) vychází z výpočtů používaných pro hydrologické modelování. Pro výpočet směru a délky povrchového odtoku pomocí příkazů *Flow direction* a *Flow length* je důležité používat upravený digitální model terénu (DMT). Použijeme-li neupravený DMT, směr odtoku se nevypočítá správně, protože místa, která mají náhle nižší nadmořskou výšku než okolí, se zobrazí jako bezodtoké deprese (sinks) a směr odtoku se zde přeruší. Ke stejnému problému dojde v místech, která mají naopak vyšší nadmořskou výšku než okolí (peaks). Abychom odstranili tuto chybu, použijeme k této analýze upravený DMT. Toho docílíme příkazem *Fill*, který vyrovná nadmořskou výšku terénních depresí s jejich bezprostředním okolím (Obr. 18, 20), tímto způsobem lze rovněž odstranit náhodné vyvýšeniny (Obr. 19). Takto upravený model již lze bez problémů použít pro analýzy hydrologického modelování. Tohoto principu využijeme pro identifikaci závrťů. Pomocí příkazu *Minus* nebo v *Raster Calculatoru* od vyplněného modelu odečteme nevyplněný model a jako výsledek se zobrazí bezodtoké deprese. Hodnoty lokálního rozdílu výšek určují hloubku závrťů. S touto množinou údajů již můžeme pracovat podle potřeby a filtrací (nástroj *Reclassify*) zobrazit plochy s námi požadovanými parametry (např. identifikovat závrty s minimální hloubkou 0,5 m a plochou větší než 5 m²).



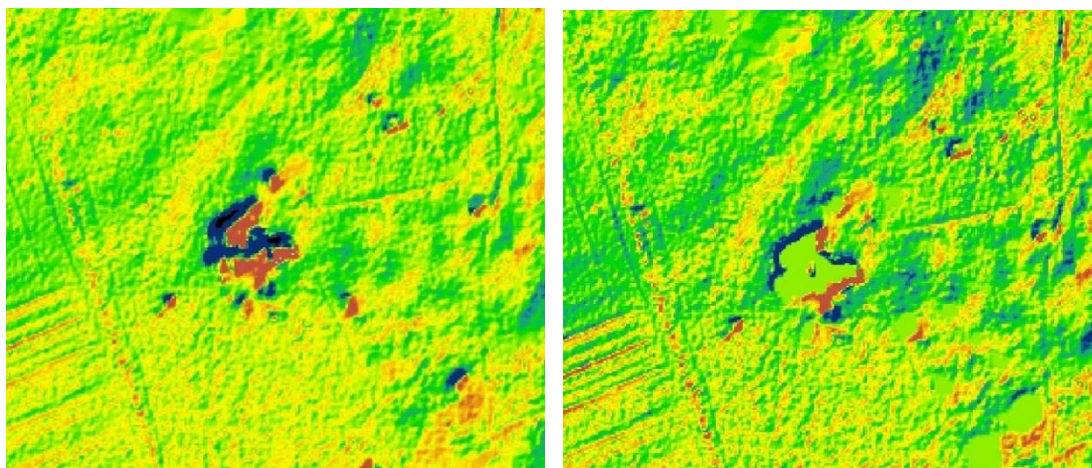
Profile view of a sink before and after running Fill

Obr. 18: Zaplnění terénních depresí pomocí příkazu Fill (ESRI, 2015)



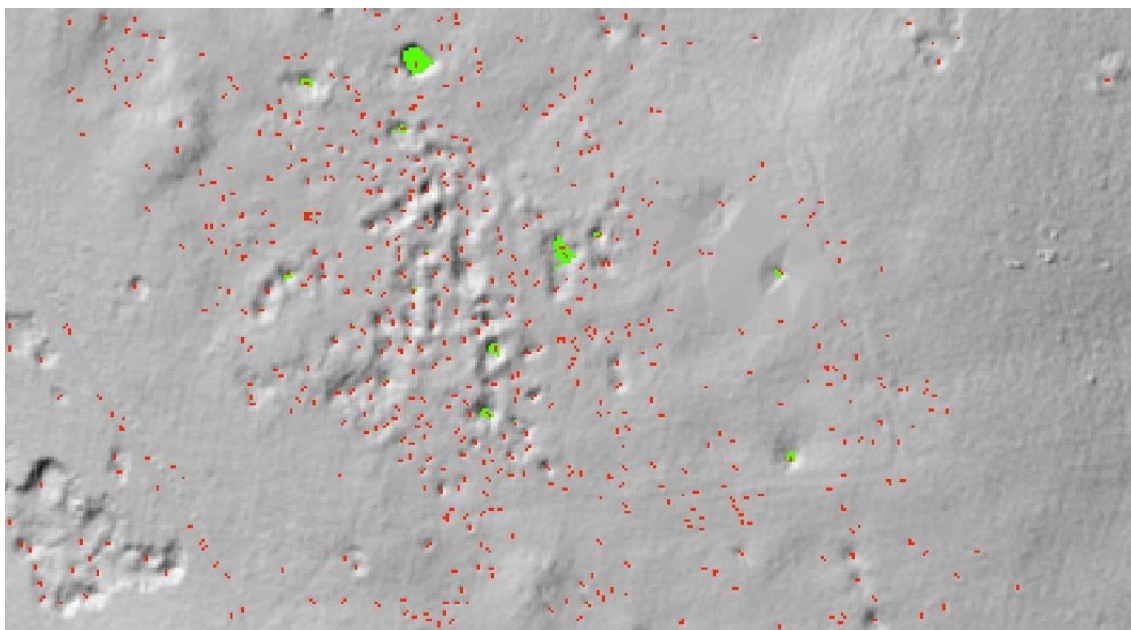
Profile view of a peak before and after running Fill

Obr. 19: Příkazem Fill lze také naopak odstranit náhodné vyvýšeniny (ESRI, 2015)



Obr. 20: Terénní deprese na DMT 5G (vlevo) a její identifikace a zaplnění pomocí nástroje Fill (vpravo)

Dalším možným a velmi jednoduchým postupem je aplikace nástroje *Sink* nad dostupným DMT (KOMAC, URBANC, 2012). Tento postup se však při použití dat z DMR 5G jako vhodný, protože výsledná mapová vrstva je velmi podrobná a zobrazuje příliš velké množství prohlubní v podobě bodů a ne celých polygonů (*Obr. 21*).



Obr. 22: Porovnání výpočtu pomocí příkazu Fill (zelená) a Sink (červená)

5.3 Ověření vypočtených dat v terénu

Pomocí výše uvedeného výpočtu byl vytvořen mapový podklad, obsahující polygony identifikovaných depresí. Tato data byla nahrána do GPS přístroje Trimble JUNO 5D (Obr. 22).



Obr. 22: GPS Trimble JUNO 5D (Zdroj: <http://www.trimble.com/mappingGIS/juno5.aspx>)

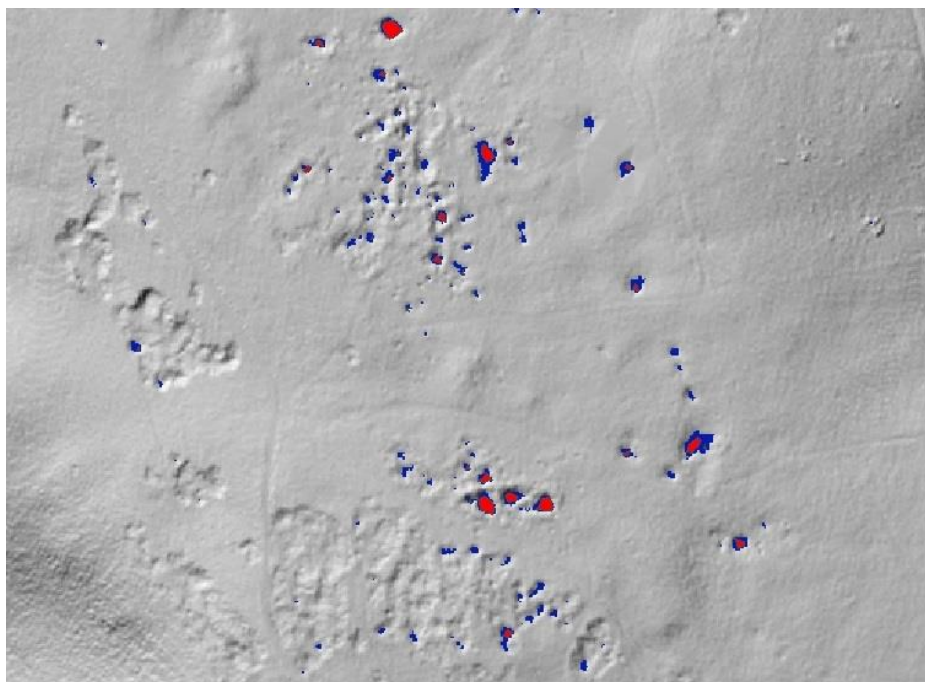
Ověření v terénu proběhlo ve třech pochůzkách. Pro první a druhé měření byla použita vrstva se závrtů hlubšími než 0,5 m (Obr. 23). Tato hloubka se však ukázala jako příliš malá, identifikováno bylo příliš mnoho depresí spíše antropogenního původu a výsledkem měření bylo zachycení velkého množství nevýznamných depresí. Výsledky takového měření sice vypovídají o velké přesnosti dat DMR 5G, avšak pro účely identifikace závrtů jsou příliš podrobné. Pro další terénní ověření byla tedy vytvořena nová vrstva (Obr. 23), zobrazující závrtů s hloubkou větší než 1 m a plochou větší než 1 m². Použití takových parametrů vedlo k výraznější eliminaci chyb a různých morfolo- gických útvarů, které nelze za závrtů považovat. Jde např. o škrapy, škrapová pole, antropogenní deprese apod.

Po provedení terénního měření byla data porovnána s dostupnou databází závrtů, která byla vytvořena pro účely diplomové práce Mgr. Jany MENŠÍKOVÉ (2012) z Ostravské univerzity v Ostravě.

První měření probíhalo 26. srpna 2015 v nejsevernější části k. ú. v okolí Alexandrovy rozhledny a NPR Býčí skála.

Druhé měření se uskutečnilo 17. září 2015 v jihovýchodní části plošiny v oblasti Zadních polí.

Třetí měření proběhlo 24. října 2015 v centrální a severozápadní části k. ú.



Obr. 23: Porovnání mapové vrstvy zobrazující závrtky hlubší než 0,5 m (modrá, 1. a 2. měření) a hlubší než 1 m (červená, 3. měření)

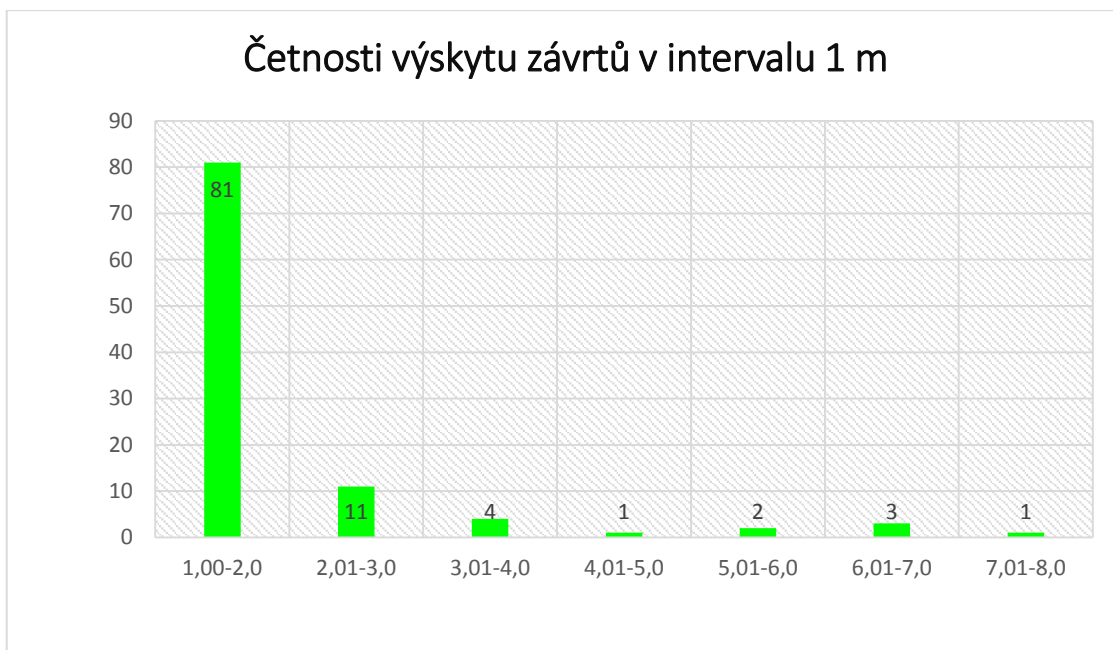
6. VÝSLEDKY

Výpočtem bylo zjištěno celkem 159 depresí s hloubkou větší než 1 m a plochou větší než 1 m². Tyto parametry byly zvoleny až pro třetí měření, tato polygonová vrstva však byla použita do mapy pro první i druhé měření, aby bylo zřejmé, že předchozí parametry a postup terénního ověřování nebyly vhodně zvoleny. Za směrodatné je tedy nutné považovat hlavně třetí měření. Některé z těchto polygonů se nacházejí v intravilánu obce, jde o různé výkopy apod. Stejně tak byly identifikovány i hlubší příkopy. Přestože jsou tyto polygony určeny správně, bylo k nim přistoupeno jako k chybám a byly ručně z databáze odstraněny. Po této úpravě zbylo celkem 103 potenciálních závrtů (*Příloha 1, Příloha 6*).

Hloubka závrtů se pohybuje v rozmezí 1,0 – 7,42 m. Nejhlubším bodem je jeden ze závrtů ve skupině Zadní pole (*Obr. 28*). Druhým nejhlubším bodem je Malá Macocha s hloubkou 6,67 m. Průměrná hloubka závrtů je 1,85 m. Nejvíce závrtů se pohybuje v rozmezí hloubky 1,0 – 2,0 m a to v počtu 81 s průměrnou hloubkou 1,35 m, z toho 59 do hloubky 1,5 m (*Tab. 4, Obr. 25*). V rozmezí 2,01 – 3,0 m bylo identifikováno 11 závrtů s průměrnou hloubkou 2,38 m. Na rozmezí 3,01 – 7,42 m zbývá již pouze 11 závrtů, které jsou však těmi nejvýznamnějšími (*Tab. 3, Obr. 24*).

Tab. 3: Četnosti výskytu závrtů v intervalu 1 m

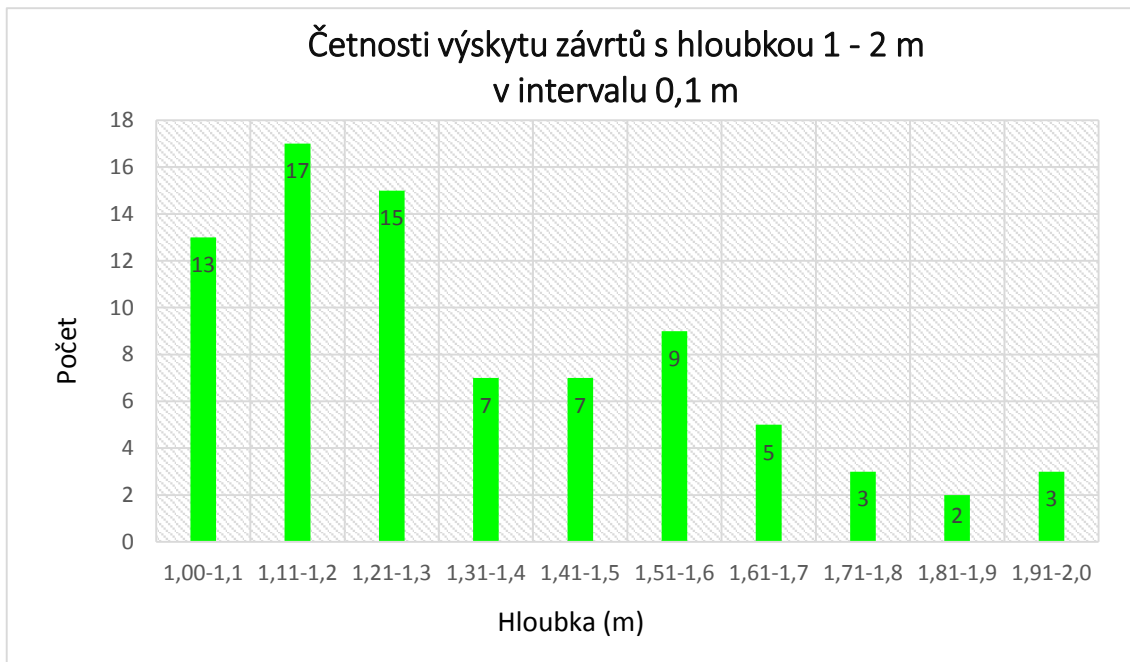
Četnosti výskytu závrtů v intervalu 1 m		
Hloubka (m)	Počet	Průměrná hloubka (m)
1,00-2,0	81	1,35
2,01-3,0	11	2,38
3,01-4,0	4	3,31
4,01-5,0	1	4,20
5,01-6,0	2	5,54
6,01-7,0	3	6,49
7,01-8,0	1	7,42
Celkový průměr		1,85



Obr. 24: Četnosti výskytu závrtů v intervalu 1 m

Tab. 4: Četnosti výskytu závrtů s hloubkou 1 - m v intervalu 0,1 m

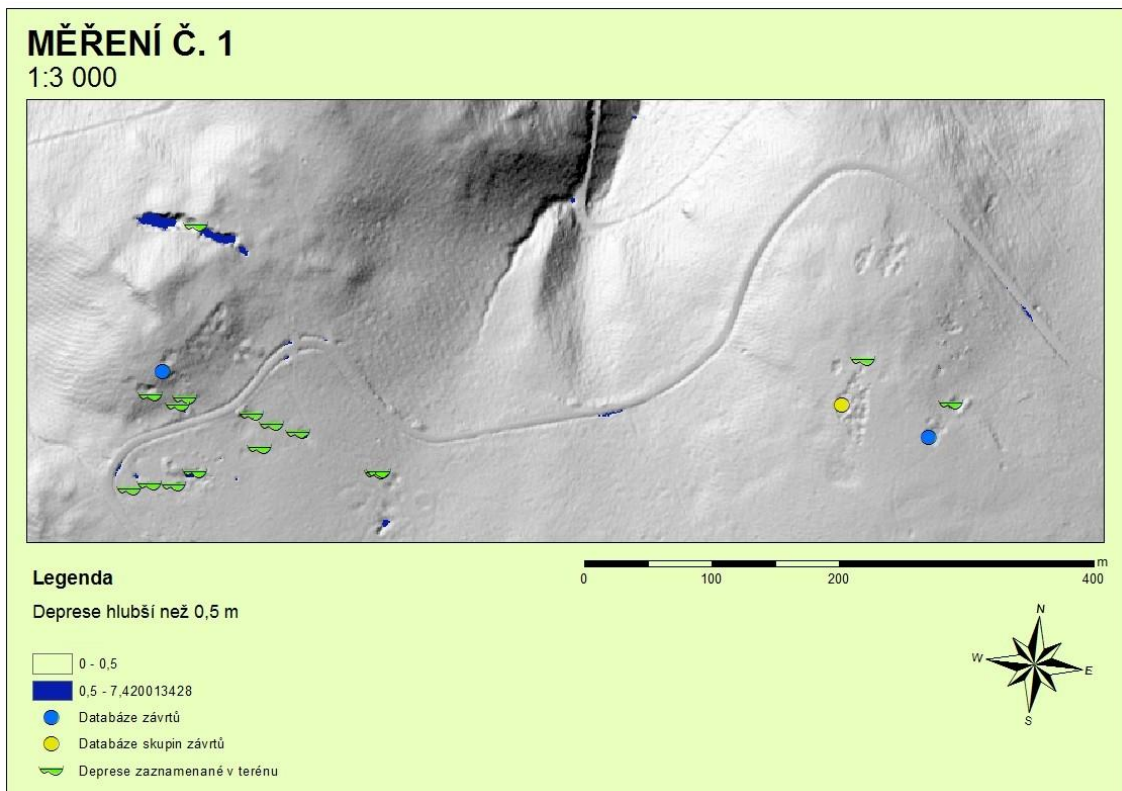
Četnosti výskytu závrtů s hloubkou 1 - 3 m v intervalu 0,1 m		
Hloubka (m)	Počet	Průměrná hloubka (m)
1,00-1,1	13	1,06
1,11-1,2	17	1,15
1,21-1,3	15	1,26
1,31-1,4	7	1,36
1,41-1,5	7	1,45
1,51-1,6	9	1,55
1,61-1,7	5	1,65
1,71-1,8	3	1,75
1,81-1,9	2	1,86
1,91-2,0	3	1,95
Celkový průměr		1,34



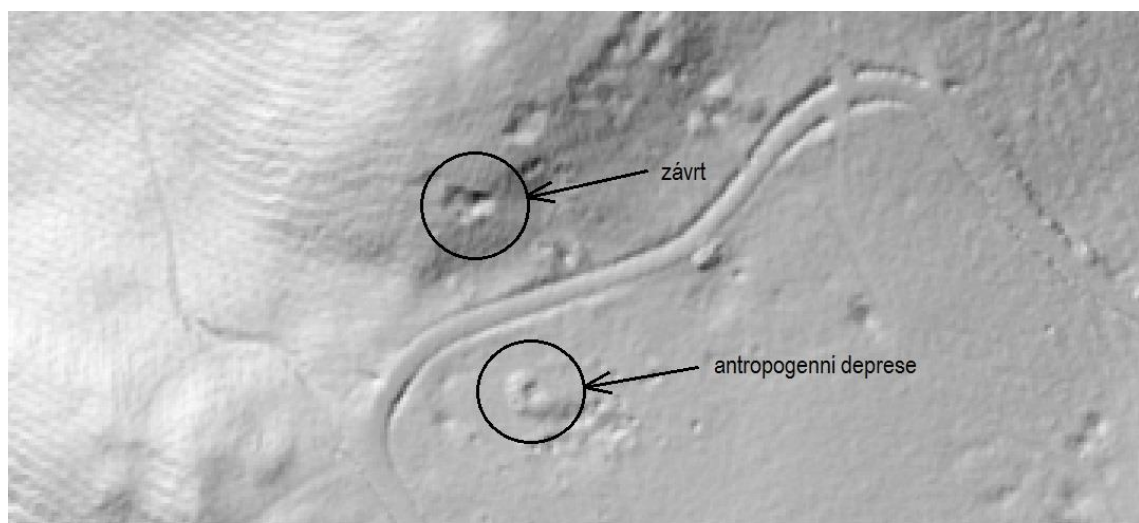
Obr. 25: Četnosti výskytu závrťů s hloubkou 1 - m v intervalu 0,1 m

- **Terénní měření č. 1**

Jako výchozí mapový podklad pro terénní ověření byla použita vrstva s depresiemi od hloubky 0,5 m. Při pochůzce bylo podle této polygonové vrstvy zaměřeno celkem 15 bodů (*Příloha 2*), z nichž některé byly spíše skupinového charakteru (*Obr. 26*). Na této lokalitě se dle evidence nachází pouze 2 závrty a jedna jejich skupina. V této oblasti byla v poměrně velké míře realizována povrchová těžba železa. Tyto antropogenní útvary jsou charakteristické přítomností tzv. obvalu, tedy materiálu nahrnutého po obvodu důlního díla (*Obr. 27*). Častá je však absence tohoto znaku a může snadno dojít k záměně se závrtem. Pokud je obval dobře zachován, je na DMR 5G jasně zřetelný a lehce rozpoznatelný od závrty. Nezřídka se také stávalo, že se těžilo právě v místě závrty. Typickým, avšak zřetelným příkladem je těžba nikoli železa, ale vápence, v oblasti Nad Bílou skálou v nejsevernější části této lokality (*Obr. 28*).



Obr. 26: Výsledek měření č. 1



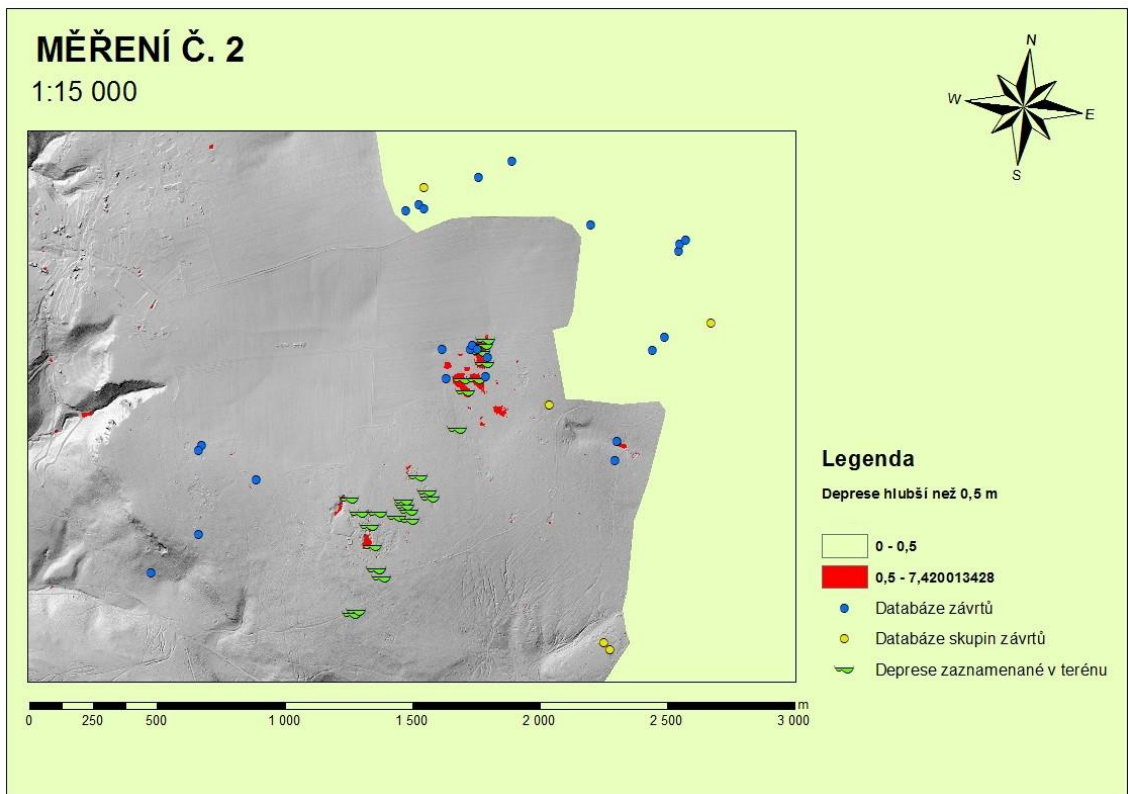
Obr. 27: Porovnání závrťu a antropogenní deprese jako pozůstatku po povrchové těžební činnosti s jasně patrným obvalem



Obr. 28: Nad Bílou skálou - pozůstatky po vápencovém důlním díle

- **Terénní měření č. 2**

Toto měření se uskutečnilo v jihovýchodní části k. ú., kde také probíhala těžba železné rudy, tudíž i zde nalezneme antropogenní deprese podobné závrťům, avšak někdy bez znaků obvalu a mnohé zaměřené body tedy nejsou jako závrty evidovány. Některé závrty nebyly zaměřeny, jelikož leží mimo k. ú. a dostupný model terénu (*Obr. 29*). Celkem bylo zmapováno 29 potenciálních závrťů (*Příloha 3*). Nejvýznamnější oblastí závrťů jsou Zadní pole (*Obr. 30*), kde bylo nalezeno celkem 8 závrťů v lesní partii, nachází se zde i nejhlubší závrť. Závrty se původně vyskytovaly i v okolních polích, ale byly v minulosti vyrovnány s terénem, aby zde mohlo být provozováno intenzivní zemědělství. V současnosti se závrty v rámci záchranného programu SAPARD obnovují, jde však o pozvolný proces a na DMR 5G ještě nejsou tyto změny patrné (viz. kap. 3.2.7). Dále se zde nachází poměrně rozsáhlá důlní těžební deprese v okolí bývalé stělnice a v jejím okolí nejspíše pozůstatky po povrchové těžbě nebo škrapové pole.



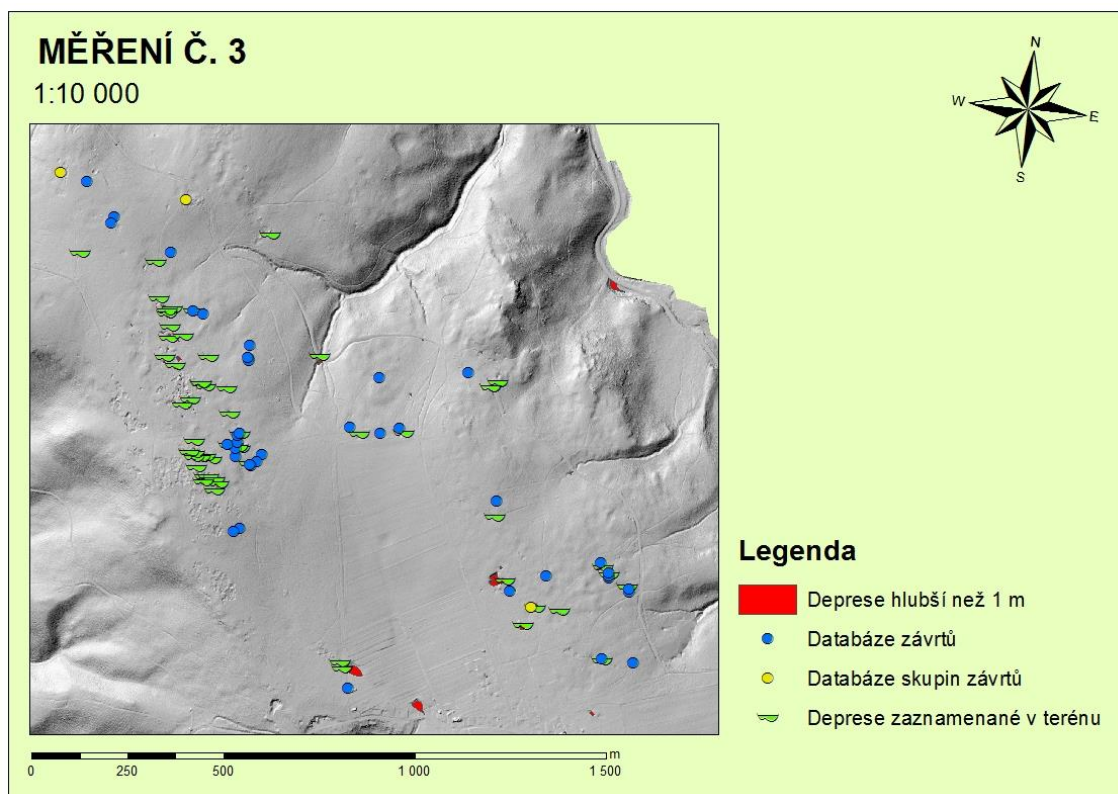
Obr. 29: Výsledky měření č. 2



Obr. 30: Skupina závrťů Zadní pole

- **Terénní měření č. 3**

Poslední ověření bylo na základě zjištění z předchozích dvou uskutečněno pomocí vrstvy zobrazující závrtů hlubší než 1 m a ploše větší než 1 m². Díky tomu byly zaměřeny spíše významnější deprese (*Obr. 31*). Celkem bylo zmapováno 58 potenciálních závrtů (*Příloha 4*). Dle databáze zde existuje cca 50 závrtů. Ve většině případů došlo ke shodě s databází. Bylo zaznamenáno několik depresí bez evidence. Jde však o mnohem menší počet než v případě podrobnějšího mapování s hloubkami od 0,5 m. V tomto měření však naopak došlo k opačné chybě než v předchozích dvou, jelikož zde několik evidovaných závrtů nebylo zaměřeno, protože mají hloubku menší než 1 m a tudíž nebyly zobrazeny na vrstvě. Nejvýznamnější zmapovanou lokalitou je bývalé důlní dílo Malá Macocha (viz. kap. 3.2.7).



Obr. 31: Výsledky měření č. 3

7. DISKUZE

Pomocí výše uvedeného výpočtu byly identifikovány terénní deprese s hloubkou větší než 1 m a plochou větší než 1 m². Během ověřování a zpracovávání výsledků nastalo několik komplikací, které sice často vyústily v nepřesnosti, ale byly důležité pro nasměrování postupu do co nejvhodnější podoby a k vytvoření uceleného závěru, ve kterém tak lze poukázat i na přístupy, které se neosvědčily a není vhodné je případně dále používat.

Možným zdrojem chyb, díky kterému nebyly v terénu zaměřeny všechny vypočítané deprese, je jejich výskyt v místech, kde byl znemožněn přístup díky příliš bujné vegetaci.

Na mapách lze pozorovat též nepřesnost GPS přístrojů, kdy je jedno místo zaměřeno na třech místech blízko sebe. Měření pro CHKO probíhalo cca před čtyřmi lety, pomocí běžné turistické GPS a tudíž výsledky mají pouze malou přesnost. Svoji roli hraje taktéž lesní porost, zde především buk a smrk, který může způsobit zkreslení 5 – 20 m.

Dalším problémem, který poměrně významně komplikoval přesnost ověření dat, jsou výše zmíněné pozůstatky po těžbě – tzv. obvaly. Vizualně nad DMR i v terénu lze tyto jevy od sebe odlišit. Bylo by možné pokusit se vhodným výpočtem o identifikaci obvalů jako míst, kde se terén náhle nepřírozeně zvedá nad rovinu terénu ve velmi krátké vzdálenosti od místa, kde naopak vzniká deprese. Komplikovanější je však situace, kdy nelze jednoznačně určit, zda se jedná o závrť nebo o pozůstatek důlní činnosti. Jedná se o ty deprese, které nejsou obklopeny obvalem, ale též nejsou zatím evidovány v databázi CHKO a dále jde i o drobnější deprese, které bývají plošně rozsáhlejší. Tyto povrchové reliéfní tvary není možné bez podrobného terénního průzkumu jednoznačně interpretovat a to zejména z důvodu opakovaného antropogenního zásahu do reliéfu Babické plošiny prakticky během celého středověku a novověku. Je velice pravděpodobné, že dané tvary mají predispozici v přírodním reliéfu krasové plošiny, ale byly významně ovlivněny antropogenním zásahem. Jednoznačná interpretace je podmíněna podrobným terénním průzkumem.

Zvolenou metodiku lze považovat za vhodnou pro použití k identifikaci závrťů v krasových oblastech. Podmínkou je však vizuální ověření jednotlivých polygonů.

Návrh postupu:

- a) pomocí výše popsaného výpočtu vytvoříme polygonovou vrstvu, zobrazující deprese o doporučené minimální hloubce 1 m a ploše 1 m²,
- b) ručně odstraníme polygony, u kterých se jasně jedná o obvaly, důlní činnost a případné další zřejmé chyby (příkopy, deprese v intravilánu, apod.),
- c) data nahrajeme do GPS,
- d) zbylé nejasnosti ověříme přímo v terénu nejlépe za přítomnosti odborníka v oblasti geologie a pedologie,
- e) pomocí ověřených dat vytvoříme mapu a tabulkovou databázi závrtů s požadovanými parametry (hloubka, plocha, polohopisná a výškopisná data) v daném území.

Pokud bychom metodiku použili v oblasti, která není poznamenána důlní činností, můžeme očekávat mnohem přesnější výsledky. Moravský kras, stejně tak jako ostatní krasová území v České republice, jsou velmi malé rozlohy oproti krasovým oblastem světa, které bývají méně ovlivněné lidskou činností. Tento fenomén zde tedy nekomplikuje měření.

Pro další výzkum by bylo tedy zajímavé zaměřit se na odlišení deprese s obvalem a bez něj výpočtem a dále se pokusit o vylišení alespoň několika typů tvarů, které lze nad DMR od sebe jasně odlišit a zjistit v terénu jejich specifika. Podrobnějšímu průzkumu by bylo vhodné podrobit též prohlubně a deprese mělčí než 1 m, které zde tvoří významný terénní fenomén a pravděpodobně se jedná o škrapová pole.

Data DMR 5G svojí přesností a detailem zcela vyhovují pro účel identifikace povrchových krasových jevů dle výše uvedené metodiky. Výsledky identifikace však mohou být závislé rovněž na době skenování dané oblasti. K výrazným rozdílům pak dochází také v závislosti na charakteru porostu (listnaté x jehličnaté porosty). V případě ŠLP Křtiny bylo skenování provedeno v době vegetačního klidu (bez olistění) a proto vzhledem k převážnému zastoupení listnatých porostů bylo dosaženo velmi kvalitního modelu terénu. V případě jiné oblasti snímkané např. během léta při plném olistění, či s převahou jehličnanů může být kvalita modelu terén výrazně nižší vlivem zachycení většiny laserových pulsů vegetací.

8. ZÁVĚR

Tato práce byla zaměřena na zhodnocení možností a principu mapování povrchových krasových jevů v České republice pomocí DMR 5G na základě již publikovaných zahraničních výzkumů a z nich vyplývajících metodik. Pro jednotlivé dílčí cíle (viz. kap. 2) byly stanoveny následující závěry:

Z dostupných zahraničních metodik a výzkumů pro identifikaci terénních depresí byla vybrána metodika uveřejněná týmem vědců okolo K. Stafforda z Steven F. Austin State University, jejichž výzkum se uskutečnil ve východním Texasu v USA. Pomocí zde uvedeného výpočtu byla vytvořena mapová vrstva zobrazující polygony, představující deprese hlubší než 1 m a s plochou nad 1 m². V těchto místech lze očekávat výskyt závrťů.

Terénním měřením byla ověřena správnost tohoto výpočtu. Nalezené závrty byly zaměřeny pomocí GPS.

Výsledky výpočtu a měření byly porovnány s dostupnou databází závrťů a byly zpracovány do mapy, grafů a tabulek. Po porovnání s výsledky posledního nejpřesnějšího měření se ukázala poměrně vysoká shoda.

DMR 5G se ukázal jako velmi přesný a vhodný pro mapování geomorfologických i antropogenních tvarů terénu, včetně jejich změn. Při dodržení všech kroků navrženého postupu lze tedy doporučit jeho využití, kromě jiného, při mapování krasových povrchových jevů. Jejich odlišení od antropogenních tvarů je prozatím nejvhodnější provést vizuálně nad modelem a následně i v terénu.

9. SUMMARY

This thesis focused on evaluation of surface karst phenomenons mapping possibilities and principles in the Czech republic using DEM 5G based on already published foreign researches and methodics arising from them. These conclusions were determined for individual purposes (see Chap. 2):

From available foreign methodics and researches for terrain depressions identification was chosen the one published by K. Stafford and his team of scientists from Steven F. Austin State University. Their research was realized in the east Texas, USA. Using given calculation the map layer showing polygons representing depressions deeper than 1 m and with an area larger than 1 m² was created. In these areas the sinkholes can be expected.

Using terrain measurement the correctness of this calculation was proved. Found sinkholes were localized by the GPS.

The calculation and measurement results were compared with the available sinkhole database and compiled into the map, graphs and charts. Relatively high compliance was proved after comparing with the latest and most exact measurement results.

DEM 5G was proved as very accurate and convenient form geomorphological and anthropological terrain figures mapping, including their changes. Respecting all steps of proposed approach, its utilization, can be recommended, besides for karst surface phenomenons mapping. The best way, for the moment, to differ them from anthropogenic figures is to realize them visually over the model and then in terrain.

10. SEZNAM LITERATURY

Česky psaná literatura:

AOPK ČR. Plán péče o Chráněnou krajinnou oblast Moravský kras na období 2007-2016. 2007, 54 s.

AOPK ČR. Plán péče o Národní přírodní památku Býčí skála na období 2012-2021. 2012, 84 s.

AOPK ČR. Plán péče o Přírodní rezervaci Čihadlo na období 2012-2021. 2012, 50 s.

AOPK ČR. Plán péče o Přírodní rezervaci Březinka na období 2012-2021. 2012, 28 s.

AOPK ČR. Plán péče o Přírodní rezervaci Dřínová na období 2012-2021. 2012, 41 s.

AOPK ČR. Plán péče o Přírodní rezervaci U Výпустku na období 2012-2021. 2012, 66 s.

AOPK ČR. Plán péče o Přírodní památku Kněžnice na období 2010-2022. 2010, 51 s.

BRÁZDIL, K. a kol. 2012. Technická zpráva k Digitálnímu modelu reliéfu 5. generace (DMR G). Praha, Zeměměřičský úřad, Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad. 12 s.

KŘÍŽ, M., KODELKA, F. 1940. Jeskyně Moravského krasu. Brno, Polygrafie, 788 s.

LOUCKÁ, P., Krásy krasu. Vesmír, 81 (8), 476-477.

MAS MORAVSKÝ KRAS. Ochrana povrchových a podzemních krasových vod (studijní materiály k akci). 2008-2009. 38 s.

MIKITA, T., CIBULKA, A., JANATA, P., Hodnocení přesnosti digitálních modelů reliéfu 4. a 5. generace v lesních porostech. Geodetický a kartografický obzor, 59 (4), 76-84.

MENŠÍKOVÁ, J., 2012. Inventarizační průzkum krasových jevů na Babické plošině (CHKO Moravský kras) vč. zajištění jejich ochrany. Diplomová práce. Ostrava, Ostravská univerzita v Ostravě, Přírodovědecká fakulta

QUITT, E. 1971. Klimatické oblasti Československa. Praha, Academia, 73 s.

ŠÍMA, J., Nové zdroje geoprostorových dat pokrývajících celé území státu od roku 2010 – první výsledky výzkumu jejich kvalitativních parametrů. 2011. Gis Ostrava 2011, 10 s.

VAHALA, M. 1963. Moravský kras. Praha, Sportovní a turistické nakladatelství, 202 s.

ZEMEK, F. a kol. 2014. Letecký dálkový průzkum Země. Brno, Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i., 155 s. ISBN 978-80-87902-07-3

Anglicky psaná literatura:

DENIZMAN, C., Morphometric and Spatial Distribution Parameters of Karstic Depressions, Lower Suwannee River Basin, Florida. *Journal of Cave and Karst Studies*. 65 (1). 29-35.

FLOREA, L. J., PAYLOR, R. L., SIMPSON, L., GULLEY, J. Karst GIS advances in Kentucky. *Journal of Cave and Karst Studies*. 64 (1). 58-62.

FORD, D., WILLIAMS, P. c2007. *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, West Sussex, England, II. Title [Rev. ed.], 563 s., ISBN 978-0-470-84996-5 (HB); 0-470-84996-7 (HB); 978-0470-84997-2 (PB); 0-470-84997-5 (PB)

KOMAC, M., URBANC, J. Assessment of spatial properties of karst areas on a regional scale using GIS and statistics – the case of Slovenia. *Journal of Cave and Karst Studies*. 74 (3). 251–261.

STAFFORD, K. W., ROSALES-LAGARDE, L., BOSTON–CASTILE, P. J. Evaporite karst potential map of the Gypsum Plain, Eddy County, New Mexico and Culberson County, Texas: A GIS methodological comparison. *Journal of Cave and Karst Studies*. 70 (2). 35–46.

STAFFORD, K. W., SHAW-FAULKNER, M. G., BROWN, W. A. Clastic Sinkhole and Pseudokarst Development in East Texas. 311-319 et Land, L., Doctor, D. H., Stephenson, J. B., editors. 2013. *Sinkholes and the Engineering and Environmental Impacts of Karst: Proceedings of the Thirteenth Multidisciplinary Conference, May 6-10, Carlsbad, New Mexico: NCKRI Symposium 2*. Carlsbad (NM): National Cave and Karst Research Institute.

THEILEN-WILLIGE, B., MALEK, H. A., CHARIF, A., EL BCHARI, F., CHAÏBI, M. Remote Sensing and GIS Contribution to the Investigation of Karst Landscapes in NW-Morocco. *Geosciences* 2014. 4. 50-72.

Internetové zdroje:

AOPK ČR, Charakteristika oblasti [online] citováno 29. ledna 2016. Dostupné na World Wide Web: <<http://moravskykras.ochranaprirody.cz/charakteristika-oblasti/>>

AOPK ČR, MapoMat (0.2.52) [online] citováno 1. února 2016. Dostupné na World Wide Web: <<http://mapy.nature.cz/>>

BLANENSKÝ DENÍK.CZ, U jeskyně Balcarka se propadla zem. Vznikl nový závrt [online] citováno 15. února 2016. Dostupné na World Wide Web: <http://blanensky.denik.cz/zpravy_region/u-jeskyne-balcarka-se-propadla-zem-vznikl-novy-zavrt-20140227.html>

ČÚZK. Geoportál ČÚZK [online] citováno 7. ledna 2016. Dostupné na World Wide Web: <[http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(ljk4jijtjqmg0diwqrffadih\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR5G-V&head_tab=sekce-02-gp&menu=302](http://geoportal.cuzk.cz/(S(ljk4jijtjqmg0diwqrffadih))/Default.aspx?mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR5G-V&head_tab=sekce-02-gp&menu=302)>

ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA, Mapové aplikace [online] citováno 29. ledna 2016. Dostupné na World Wide Web: < <http://www.geology.cz/extranet/mapy/mapy-online/mapove-aplikace>>

ESRI, ArcGIS Desktop 9.3 Help [online] citováno 26. prosince 2015. Dostupné na World Wide Web: <<http://web-help.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=How%20Fill%20works>>

GRYGAR, R., JELÍNEK, J., Fluviální procesy a reliéfy jimi vznikající. Technická univerzita Ostrava [online] citováno 28. ledna 2016. Dostupné na World Wide Web: <http://geologie.vsb.cz/geomorfologie/Prednasky/9_kapitola.htm>

SRÁVA JESKYNÍ ČR. Jeskyně a krasová území ČR [online] citováno 28. ledna 2016. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.jeskynecr.cz/cz/sprava/kras-a-jeskyne/>>

ŠLP MASARYKŮV LESY KŘTINY, O nás [online] citováno 29. ledna 2016. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.slpkrtiny.cz/slp-krtiny/o-nas/>>

WIKIPEDIA, Wankelův závrt [online] citováno 5. února 2016. Dostupné na World Wide Web: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Wankel%C5%AFv_z%C3%A1vrt>

11. PŘÍLOHY

Příloha 1: Identifikované deprese hlubší než 1 m s plochou nad 1 m²

Identifikované deprese hlubší než 1 m s plochou nad 1 m ²				
ID	Plocha (m ²)	Hloubka (m)	Souřadnice X (m)	Souřadnice Y (m)
1	181	4,20	-592142,81	-1149515,56
2	129	5,75	-592093,98	-1149528,56
3	17	1,51	-592075,60	-1149538,99
4	6	1,41	-591963,93	-1149752,51
5	15	1,54	-591054,92	-1149824,93
6	25	1,93	-591550,10	-1149873,38
7	7	1,55	-591360,97	-1149894,93
8	12	1,83	-591353,47	-1149989,42
9	9	1,22	-591335,89	-1150010,77
10	2	1,05	-590455,42	-1150014,73
11	45	1,19	-591693,72	-1150013,01
12	8	1,38	-591317,74	-1150018,05
13	21	2,02	-591253,60	-1150019,36
14	24	1,79	-591323,76	-1150036,29
15	10	1,08	-591421,01	-1150060,27
16	2	1,23	-591318,90	-1150067,23
17	6	1,60	-591340,35	-1150080,67
18	38	1,97	-591322,11	-1150088,65
19	2	1,20	-591297,42	-1150100,73
20	2	1,19	-591324,29	-1150120,72
21	2	1,08	-591325,41	-1150122,62
22	4	1,12	-590506,33	-1150132,47
23	66	3,24	-591297,20	-1150148,31
24	9	1,45	-591335,87	-1150155,98
25	69	2,57	-590928,96	-1150156,29
26	6	1,09	-591301,10	-1150172,35
27	2	1,17	-591293,42	-1150193,73
28	3	1,14	-591233,26	-1150209,52
29	4	1,45	-590460,26	-1150209,78
30	3	1,14	-591293,70	-1150215,84
31	38	1,69	-591245,59	-1150215,43
32	6	1,36	-591169,57	-1150223,06
33	7	1,26	-591342,35	-1150224,04
34	4	1,22	-591298,14	-1150229,21
35	4	1,35	-590690,96	-1150241,44
36	14	2,42	-591269,77	-1150249,91

37	2	1,23	-591307,29	-1150260,72
38	10	1,63	-591272,48	-1150272,62
39	2	1,15	-591258,41	-1150279,73
40	8	1,37	-591165,40	-1150287,82
41	2	1,23	-591288,41	-1150299,73
42	2	1,11	-591433,41	-1150320,73
43	15	1,17	-590715,75	-1150337,20
44	2	1,05	-591128,42	-1150373,73
45	33	1,48	-591134,35	-1150372,47
46	5	1,27	-591170,19	-1150377,17
47	3	1,27	-591256,05	-1150384,74
48	17	1,62	-591246,34	-1150390,42
49	2	1,38	-591254,42	-1150402,73
50	23	1,88	-591232,67	-1150400,78
51	44	2,27	-591213,90	-1150404,58
52	52	2,32	-591245,96	-1150404,77
53	14	1,29	-591109,30	-1150425,63
54	27	1,56	-590271,90	-1150446,30
55	11	1,29	-591234,34	-1150474,06
56	2	2,14	-589658,42	-1150517,73
57	7	1,18	-590477,92	-1150559,19
58	4	1,56	-592365,79	-1150649,97
59	16	1,63	-590454,96	-1150695,01
60	125	3,28	-590195,97	-1150694,28
61	3	1,12	-590167,77	-1150699,50
62	584	6,67	-590468,20	-1150727,10
63	6	1,56	-590118,85	-1150745,17
64	3	1,05	-590417,80	-1150753,50
65	20	1,47	-590363,89	-1150793,88
66	13	1,50	-590295,80	-1150812,79
67	106	2,74	-590399,32	-1150851,19
68	5	1,28	-590188,63	-1150937,14
69	759	1,15	-590839,70	-1150963,36
70	54	1,94	-590217,48	-1151075,51
71	186	3,05	-590145,26	-1151202,49
72	3	1,02	-592045,70	-1151277,84
73	22	1,70	-589068,90	-1151957,29
74	18	1,09	-589072,27	-1152032,75
75	47	1,76	-590776,06	-1152041,48
76	13	1,24	-588945,43	-1152046,28
77	2325	7,42	-589087,75	-1152016,98
78	6	1,32	-589137,82	-1152072,64
79	2	1,06	-589141,42	-1152074,73

80	15	1,41	-589144,86	-1152076,77
81	1337	5,33	-589104,26	-1152119,10
82	2141	6,62	-589162,74	-1152136,58
83	2	1,06	-589004,42	-1152222,73
84	3	1,11	-589009,68	-1152227,51
85	12	1,29	-589128,91	-1152227,77
86	3	1,02	-589015,68	-1152236,51
87	275	2,25	-589003,07	-1152245,52
88	2	1,06	-589087,80	-1152269,11
89	9	1,52	-589083,51	-1152294,01
90	278	3,69	-588545,31	-1152369,72
91	115	2,83	-588522,42	-1152378,07
92	103	2,53	-588559,40	-1152434,62
93	24	1,56	-589368,60	-1152459,41
94	2	1,08	-589380,42	-1152464,73
95	38	1,19	-589631,38	-1152592,83
96	2	1,14	-589567,42	-1152629,73
97	5	1,29	-589496,21	-1152644,94
98	2	1,11	-588817,80	-1152677,11
99	27	1,71	-589524,77	-1152707,51
100	1366	6,17	-589533,64	-1152756,76
101	19	1,26	-588688,08	-1153650,67
102	21	1,38	-588685,07	-1153658,71
103	71	2,08	-588610,77	-1153801,04

Příloha 2: Terénní měření č. 1

Měření č. 1			
Pořadové číslo	Souřadnice X (m)	Souřadnice Y (m)	Souřadnice Z (m)
1	-590190,53	-1150936,81	511,27
2	-590397,02	-1150845,75	506,48
3	-590364,55	-1150800,39	504,31
4	-590301,69	-1150808,35	503,00
5	-590125,25	-1150745,26	486,59
6	-590171,61	-1150711,57	497,64
7	-590186,10	-1150693,27	492,71
8	-590445,15	-1150728,07	508,67
9	-590469,66	-1150561,89	501,84
10	-590481,20	-1150224,30	484,37
11	-590481,54	-1150224,59	483,75
12	-590462,72	-1150211,29	480,19
13	-590709,21	-1150341,88	494,65
14	-590825,56	-1150344,15	499,36
15	-591113,76	-1150420,66	529,01
Celkový počet závrťů:			15

Příloha 3: Terénní měření č. 2

Měření č. 2			
Pořadové číslo	Souřadnice X (m)	Souřadnice Y (m)	Souřadnice Z (m)
16	-589595,04	-1153040,97	467,20
17	-589579,93	-1153029,38	460,79
18	-589480,45	-1152897,33	493,29
19	-589499,66	-1152865,02	489,19
20	-589500,10	-1152864,97	492,53
21	-589517,84	-1152773,11	490,67
22	-589528,20	-1152693,35	501,37
23	-589565,68	-1152643,54	494,71
24	-589606,55	-1152588,61	496,53
25	-589497,55	-1152640,62	500,70
26	-589420,45	-1152659,06	500,08
27	-589370,60	-1152668,37	497,29
28	-589373,12	-1152635,65	501,46
29	-589388,23	-1152616,08	505,05
30	-589391,46	-1152594,22	513,78
31	-589289,26	-1152583,17	494,64
32	-589302,58	-1152559,03	509,37
33	-589337,27	-1152499,05	502,51
34	-589180,89	-1152312,95	492,31
35	-589149,46	-1152167,50	480,67
36	-589164,14	-1152116,54	481,01
37	-589106,31	-1152119,21	479,72
38	-589106,37	-1152119,60	479,53
39	-589096,07	-1152056,67	484,37
40	-589076,08	-1152054,55	481,34
41	-589089,50	-1152011,68	487,91
42	-589090,40	-1152011,11	487,81
43	-589080,42	-1151984,37	485,06
44	-589070,77	-1151961,68	481,94
Celkový počet závrtů:			29

Příloha 4: Terénní měření č. 3

Měření č. 3			
Pořadové číslo	Souřadnice X (m)	Souřadnice Y (m)	Souřadnice Z (m)
45	-590190,53	-1150936,81	511,27
46	-590397,02	-1150845,75	506,48
47	-590364,55	-1150800,39	504,31
48	-590301,69	-1150808,35	503,00
49	-590125,25	-1150745,26	486,59
50	-590171,61	-1150711,57	497,64
51	-590186,10	-1150693,27	492,71
52	-590445,15	-1150728,07	508,67
53	-590469,66	-1150561,89	501,84
54	-590481,20	-1150224,30	484,37
55	-590481,54	-1150224,59	483,75
56	-590462,72	-1150211,29	480,19
57	-590709,21	-1150341,88	494,65
58	-590825,56	-1150344,15	499,36
59	-591113,76	-1150420,66	529,01
60	-591135,83	-1150382,15	530,04
61	-591141,15	-1150379,42	533,79
62	-591167,08	-1150374,19	533,31
63	-591210,23	-1150410,21	530,97
64	-591226,72	-1150402,50	529,70
65	-591240,47	-1150405,79	528,85
66	-591256,60	-1150406,40	535,05
67	-591256,70	-1150396,43	537,60
68	-591268,22	-1150392,46	535,65
69	-591256,44	-1150363,91	535,23
70	-591249,81	-1150432,72	534,04
71	-591229,61	-1150456,45	533,01
72	-591217,68	-1150463,26	533,82
73	-591218,68	-1150455,89	532,49
74	-591202,06	-1150462,95	529,24
75	-591192,56	-1150474,32	529,87
76	-591202,83	-1150493,17	528,68
77	-591232,12	-1150468,73	531,20
78	-591137,24	-1150343,90	527,82
79	-591163,70	-1150292,42	518,75
80	-591287,84	-1150268,60	520,47
81	-591267,06	-1150255,31	521,11
82	-591227,37	-1150212,00	518,61

83	-591240,38	-1150211,90	517,97
84	-591236,97	-1150213,00	519,67
85	-591171,30	-1150226,36	520,81
86	-591219,63	-1150145,37	515,26
87	-591307,53	-1150165,19	519,02
88	-591333,28	-1150143,99	520,60
89	-591322,92	-1150093,32	515,90
90	-591286,36	-1150087,83	518,47
91	-591319,34	-1150065,20	516,83
92	-591315,26	-1150015,92	515,81
93	-591326,30	-1150030,21	513,92
94	-591327,57	-1150023,60	512,82
95	-591347,98	-1149991,17	514,03
96	-591355,40	-1149894,76	512,96
97	-591553,61	-1149870,55	514,45
98	-591258,51	-1150021,24	520,46
99	-591058,97	-1149825,14	484,30
100	-590928,57	-1150142,01	473,74
101	-590875,85	-1150942,39	474,67
102	-590870,34	-1150958,18	473,15
Celkový počet závrtů:			58

Příloha 5: MR 5G k. ú. Babice nad Svitavou - celkový pohled, model reliéfu upravený stínováním

