

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Katedra geografie

**Svahové nestability a jejich projevy ve vybrané části
Hrubého Jeseníku**

Diplomová práce

Vedoucí práce: Mgr. Peter Mackovčin, Ph.D.

Olomouc 2023

Bc. Pavel NĚMEC

Bibliografický záznam

Autor (osobní číslo): Bc. Pavel Němec (R200067)

Studijní obor: Geografie a Regionální rozvoj

Název práce: Svahové nestability jejich projevy ve vybrané části Hrubého Jeseníku

Title of thesis: Slope instabilities and their exerts in selected area of Hrubý Jeseník

Vedoucí práce: Mgr. Peter Mackovčín, Ph.D.

Rozsah práce: 87 stran, 15 vázaných příloh

Abstrakt: Tato diplomová práce se zabývá vybranými typy svahových nestabilit v geomorfologickém celku Hrubý Jeseník. Cílem práce bylo prozkoumat historické zdroje a najít informace o již proběhlých sesuvech půdy v tomto území, následně vyhledat současně probíhané monitorinky sesuvů. V rámci terénního výzkumu prozkoumám a zaměřím aktuální stav svahových nestabilit. Při terénním výzkumu jsem se snažil využít všech dostupných metod měření, od jednoduchých analogových měření pomocí pásma a laseru, přes používání aplikací v mobilním telefonu až po použití profesionálních totálních stanic a GNSS přístrojů. Využil jsem znalostí nabytých v praxi mimo studium. Terénní výzkum proběhl na 3 lokalitách, v práci jsou popsány naměřené hodnoty, které jsem následně porovnal s historickým měření. Na závěr práce jsem s pomocí vlastních zkušeností navrhl metodu precizního dlouhodobého monitoringu pomalých sesuvů a její výhody oproti současným a historickým metodám měření.

Klíčová slova: svahové nestability, Hrubý Jeseník, monitoring, sesuvy půdy

Abstract: This diploma thesis is focused to selected types of slope instabilities in Hrubý Jeseník Mt. The aim of this thesis was to examine historical sources and find information about landslides that have already taken place in this area, then research for ongoing monitoring of landslides. As part of the field research, I will investigate and focus on the current state of slope instabilities. During field research, I tried to use all available measurement methods, from simple analog measurements using a band

and laser, through the use of mobile phone applications to the use of professional total stations and GNSS devices. I used the knowledge acquired in practice outside of studies. The field research took place at 3 locations, the measured values are described in the thesis, which I then compared with historical measurements. At the end of the thesis, with the help of my own experience, I proposed a method of precise long-term monitoring of slow landslides and its advantages compared to current and historical measurement methods.

Keywords: slope instability, Hrubý Jeseník Mt., monitoring, landslides

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením
Mgr. Petera Mackovčina Ph.D. s použitím odborné literatury uvedené v seznamu zdrojů.

V Olomouci dne 19. 4. 2023

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized 'P' followed by several loops and a long horizontal stroke.

Podpis

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu práce Mgr. Peteru Mackovčínovi Ph.D. za pomoc, cenné rady a připomínky a asistenci při terénním výzkumu. Dále bych chtěl poděkovat firmě Geocentrum spol. s r.o. a jejím zaměstnancům za odborné rady a zapůjčení vybavení k měření. Poděkování také patří mé přítelkyni, rodině a přátelům, kteří mě podporovali nejen při psaní diplomové práce, ale i během celého studia.

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Pavel NĚMEC**
Osobní číslo: **R200067**
Studijní program: **N0532A330021 Geografie a regionální rozvoj**
Studijní obor: **Geografie a regionální rozvoj**
Téma práce: **Svahové nestability a jejich projevy ve vybrané části Hrubého Jeseníku**
Zadávající katedra: **Katedra geografie**

Zásady pro vypracování

Ve vybrané části Hrubého Jeseníku, bude proveden terénní průzkum za účelem případného doplnění databáze svahových nestabilit vedených v registru České geologické služby. V rešeršní části se popíše vývoj sledování svahových nestabilit jejich kvantifikace a prostorové rozložení. Svahové nestability následně kvantifikovány a vizualizovány nástroji GIS. Z terénních šetření vznikne podklad k vytvoření geomorfologické mapy zvolené svahové nestability a jejího okolí.

Rozsah pracovní zprávy: **20 000 – 24 000 slov**
Rozsah grafických prací: **Podle potřeb zadání**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

Czudek T. Reliéf Moravy a Slezska v kvartéru. Sursum Tišnov, 1997, 213 s.
Beck, K. Technická dokumentace ke stržím v povodí Hučivé Desné. Státní lesy Krnov, 1969.
Gába Z. Mury pod Keprníkem v červenci 1991. Severní Morava sv. 64, Šumperk 1992 s. 43-49.
Chlupáč, I., Brzobohatý, R., Kovanda, J., Stráník. Geologická minulost České republiky. Vyd. 2. Praha: Academia, 2011, 436 s. ISBN 978-80-200-1961-5.
Křížek M., Krause D., Raschková T. Debris flow in the Hrubý Jeseník Mts., Bohemian Massif, Czech Republic. Journal of maps 2017, Volume 34, s. 428-434.
Neset, J. Strže Hučivé Desné: Průvodní zpráva. Šumperk, 1967, s. 25.
Němčok, A., Pašek, J., Rybář, J. Dělení svahových pohybů: Sborník geologických věd, Hydrogeologie. 1974, 77-97.
Průša, E. Pěstování lesů na typologických základech. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2001, 593 s. ISBN 80-863-8610-4.
Sokol, F. Vliv přírodního prostředí a lidské činnosti na vznik svahových sesuvů a dosavadní zkušenosti s jejich rekultivací v Hrubém Jeseníku I, II. Šumperk, 1965, 325s. Kandidátská disertační práce.
Česká geologická služba-Geofond –registr svahových nestabilit 2021: https://mapy.geology.cz/svahove_nestability/
Geologická mapa 1:50 000, číslo mapy ZM50: 1242-Bělá pod Pradědem. Česká geologická služba [online]. 2014 [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: http://mapy.geology.cz/geocr_50/
Pedologická mapa 1:50 000, číslo mapy ZM50: 1242-Bělá pod Pradědem, Česká geologická služba [online]. 2014 [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: <http://mapy.geology.cz/pudy/>

Vedoucí diplomové práce: **Mgr. Peter Mackovčin, Ph.D.**
Katedra geografie

Datum zadání diplomové práce: **26. února 2021**

Termín odevzdání diplomové práce: **10. dubna 2022**

L.S.

doc. RNDr. Martin Kubala, Ph.D.
děkan

prof. RNDr. Marián Halás, Ph.D.
vedoucí katedry

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	11
SEZNAM TABULEK	12
SEZNAM PŘÍLOH	13
1 ÚVOD	14
2 CÍLE PRÁCE	15
3 METODY PRÁCE	16
4 FYZICKOGEOGRAFICKÁ CHARAKTERISTIKA HRUBÉHO JESENÍKU	18
4.1 Geomorfologické poměry	18
4.2 Geologické poměry	20
4.3 Pedologické poměry	21
4.4 Klimatické poměry	21
4.5 Flora a fauna.....	22
5 SVAHOVÉ NESTABILITY V ČESKÉ REPUBLICE.....	25
5.1 Klasifikace podle mechanismu a rychlosti svahových sesuvů	26
5.1.1 Svahový proces ploužení	26
5.1.2 Svahový proces sesouvání	27
5.1.3 Svahový proces stékání.....	27
5.1.4 Svahový proces řícení.....	27
5.2 Výzkum sesuvů v České republice	28
6 SVAHOVÉ NESTABILITY V HISTORII HRUBÉHO JESENÍKU...29	
6.1 Svahové sesuvy v povodí Branné	29

6.2	Mury v Hrubém Jeseníku	30
6.2.1	Murové sesuvy v roce 1921	32
6.2.2	Sanační opatření po roce 1921 jako prevence a náprava murových svahů	34
6.2.3	Murové sesuvy v roce 1991	36
7	MONITORING SVAHOVÝCH NESTABILIT POMOCÍ TECHNOLOGIE LIDAR	37
7.1	Princip LiDAR.....	37
8	ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ BŘIDLIČNÁ HORA	38
8.1	Historie sledování pomalých svahových procesů.....	39
8.2	Geomorfologické poměry na Břidličné hoře	40
8.3	Geologické poměry na Břidličné hoře	40
8.4	Klimatologické poměry a vegetace na Břidličné hoře	40
8.5	Popis zkoumaného území.....	41
8.5.1	Geologický profil kontrolního bodu VI	42
8.5.2	Geologický profil kontrolního bodu IX	42
8.6	Použité metody	45
8.7	Výsledky měření	47
9	VÝZKUM MUROVÝCH STRŽÍ NA ZÁPADNÍM SVAHU ČERVENÉ HORY	56
9.1	Poloha Červené hory	56
9.2	Terénní výzkum 19. července 2022	56
9.3	Terénní výzkum 10. září 2022	61
10	ZAMĚŘENÍ SVAHOVÉ NESTABILITY V POVODÍ BRANNÉ	64
10.1	Identifikace svahové nestability	64
10.2	Zaměření svahové nestability	65
10.2.1	Metodika zaměřování	66

10.3	Zpracování dat.....	66
10.4	Výsledky měření	66
10.5	Návrh na zařazení do registru sesuvů ČGS	68
11	PROBLEMATIKA A NÁVRH METODIKY ZAMĚŘOVÁNÍ POMALÝCH SESUVŮ	70
11.1	Vlastní návrh metodiky.....	70
12	DISKUSE	75
13	ZÁVĚR.....	78
14	SUMMARY.....	79
15	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	80
15.1	Seznam citované literatury	80
15.2	Seznam internetových zdrojů	84
15.3	Seznam zdrojů mapových podkladů:	84
15.4	Zdroje obrázků	85
15.5	Zdroje příloh.....	87
	PŘÍLOHY	88

Seznam obrázků

Obr. 1 Umístění zájmového území v rámci České republiky a geomorfologické členění Jesenické podsoustavy	18
Obr. 2 Fotografie sesuvu v povodí Branné z roku 1880	30
Obr. 3 Mury vzniklé 1. 6. 1921 na západním svahu Červené hory v údolí Hučivé Desné	31
Obr. 4 Dopad protržení murových hrází v Koutech nad Desnou	33
Obr. 5 Horninová stavba území v oblasti Břidličné hory	39
Obr. 6 Kvarcitové bloky v suťovém moři na Břidličné hoře	41
Obr. 7 Plánek zájmové oblasti s čísly monitorovaných balvanů, čísla podle založení v roce 1972	44
Obr. 8 Zkoumané území s růžově označenými sledovanými balvany	46
Obr. 9 Plánek vertikálních posunů balvanů mezi lety 1972-2022	49
Obr. 10 Vertikální pohyby monitorovaného balvanu číslo 7 oproti roku 1978	50
Obr. 11 Vertikální pohyby monitorovaného balvanu číslo 5 oproti roku 1978	50
Obr. 12 Vertikální pohyby monitorovaného balvanu číslo 19 oproti roku 1978	51
Obr. 13 Vzhled interaktivní mapy a jednotlivých zaměřených bodů vytvořené v prostředí ArcGis Online	59
Obr. 14 Mury na západním svahu Červené hory zakresleny pomocí DMR5G	60
Obr. 15 Čísla měřených bodů vybrané strže a jejich umístění	62
Obr. 16 Výškový profil břehu vybrané strže v severovýchodní části Červené hory	63
Obr. 17 Nalezená svahová nestabilita – skalní řícení	64
Obr. 18 Zájmová oblast svahové nestability skalní řícení a čísla přidělená měřeným bodům	65
Obr. 19 Výškové rozdíly oproti nejnižše položenému bodu číslo 9	67
Obr. 20 Vytyčené hrany a přidělené body svahové nestability	68
Obr. 21 Odrazový terč na stativu (vlevo) a laserový scanner Leica RTS360 3D na stativu (vpravo)	72

Seznam tabulek

Tab. 1: Geomorfologické jednotky Hrubého Jeseníku.....	19
Tab. 2 Počet a rozměry murových drah podle Sokola (1965).....	33
Tab. 3 Rozdělení balvanů do skupin podle sklonitosti svahu	42
Tab. 4 Rozdělení monitorovaných balvanů do intervalů dle délky jejich nejdelší osy...	47
Tab. 5 Monitorované balvany, jejich rozměr v metrech, sklon svahu v místě, na kterém se nachází a vertikální posun.....	51
Tab. 6 Průměrné celkové posuny balvanů rozdělené podle sklonu svahu	53
Tab. 7 Průměrné celkové posuny balvanů rozdělené do skupin podle nejdelší osy balvanů.....	54
Tab. 8 Průměrné celkové posuny balvanů rozdělené podle objemu balvanů	54
Tab. 9 Naměřené rozměry strží v jejich nejmnocnějším místě dne 19. června 2022.....	57
Tab. 10 Parametry skalního řízení.....	69

Seznam příloh

Příloha 1: Zákres murových drah na západním svahu Červené hory podle Sokola.....	88
Příloha 2: Murové dráhy na svazích Červené hory a Spáleného vrchu indikované po 1. 6. 1921	89
Příloha 3 Dokončená první fáze sanačních opatření palisádovými ploty na západním svahu Červené hory	90
Příloha 4 Zjišťování koryt řek kamennými kaskádami k zachycení splaveniny ze svahů	91
Příloha 5 Technické zajišťování svahů pomocí palisádových plotů	91
Příloha 6 Kaskádovité kamenné žlaby sloužící pro odvodňování svahů při vydatných deštích	92
Příloha 7 Zaměřování balvanů totální stanicí na Břidličné hoře	92
Příloha 8 Velikost frakcí metamorfovaných kvarcitů na Břidličné hoře	93
Příloha 9 Vzhled kamenných kaskád na řece Hučivé Desné v současnosti.....	93
Příloha 10 Stabilizační kamenná zídka v pozadí s tzv. opilý stromem.....	94
Příloha 11 Vzhled vybrané strže na západním svahu Červené hory	94
Příloha 12 Opilý strom na západním svahu Červené hory	95
Příloha 13 Opilé stromy různého stáří na západním svahu Červené hory	95
Příloha 14 GNSS přístroj Leica GS18 v rozloženém i složeném stavu	96
Příloha 15 Detail zapnutého laserového scanneru Leica RTC360 3D	96

1 Úvod

Svahové nestability a jejich projevy jsou nedílnou součástí vývoje povrchu krajiny. Vznikají složitou interakcí mezi geologickou a geomorfologickou stavbou území, extrémními klimatologickými situacemi a antropogenní činností. Ačkoliv se jedná o přirozený jev, tak může mít neblahý dopad na obyvatelstvo a krajinu.

Sesuvy půdy jsou projev svahových nestabilit. Spouštěč může být přirozený (extrémní srážková situace, intenzivní tání sněhové pokrývky) anebo jako důsledek antropogenní činnosti (důlní činnost, nevhodně postavené stavby). Kvůli pozorovaným změnám klimatu lze předpokládat, že bude častěji docházet k podmínkám vhodných pro vznik sesuvů půdy (extrémní sucho střídající extrémní srážky).

Přirozený vývoj lesních oblastí Hrubého Jeseníku je už více jak dvě století spjat se zásahy člověka. S rozvojem průmyslu probíhaly na území Hrubého Jeseníku rozsáhlé geologické průzkumy za účelem objevení ložisek rud. Souvisí s tím i vyšší spotřeba dřeva a rozvoj dřevařského průmyslu. Lesní porosty byly zpřístupněny údolními lesními cestami, důmyslnými systémy úzkorozchodných železnic a svážnic, v zimním období saňovými cestami a v jarních měsících se využívaly vodní toky k volné plávce dřeva. Umělé zalesňování neprobíhalo, pouze přirozená obnova lesa. Pozdější chov ovcí a hovězího dobytka na odlesněných plochách měl svůj velký podíl nejen na ničení přirozené i umělé obnovy lesních porostů, ale hlavně na zhoršení přirozených klimatických, půdních a vodních poměrů ve vybraných částech Hrubého Jeseníku.

2 Cíle práce

Cílem této diplomové práce je výzkum svahových nestabilit ve vybrané části Hrubého Jeseníku. V úvodních kapitolách teoretické části je třeba definovat svahové nestability a uvést jejich vybrané projevy na území České republiky. Nedílnou součástí práce bude dohledat v dostupné literatuře informace o významných svahových nestabilitách a jejich projevech v oblasti Hrubého Jeseníku.

Nejdůležitější částí jsou vlastní terénní měření a následná analýza naměřených dat. V první části terénního výzkumu se zaměřím na dlouhodobý monitoring pomalého sesuvu na Břidličné hoře. K této části je třeba dohledat historická data z jednotlivých etap z měření, analyzovat metodiku a zamyslet se nad jejími výhodami a nevýhodami. V další fázi zaměřit aktuální stav této svahové nestability podle stejné metodiky, aby bylo možné porovnávat data z historických etap měření s těmi současnými. Data budou následně vizualizována pomocí obrázků a tabulek a podrobně popsána. Historická metodika by následně měla být porovnána s nejmodernějšími současnými trendy monitoringu pomalých sesuvů. Na základě získaných poznatků by bylo vhodné navrhnout novou metodiku zaměřování pomalých sesuvů tak, aby data získaná novou metodikou byla porovnatelná s daty z historického měření.

Ve druhé části se budu věnovat pozůstatkům murových sesuvů na západním svahu Červené hory. Pozůstatky murových svahů ve formě strží je nutné změřit a lokalizovat pomocí vhodných nástrojů a následně vizualizovat výsledky v prostředí GIS. Nedílnou součástí je následná interpretace výsledků.

Ve třetí části terénního výzkumu si kladu za cíl najít svahový proces, který není zaregistrován v Registru svahových nestabilit České geologické služby. Po lokalizaci sesuvu je důležité ho zaměřit, fotodokumentovat, a následně ho pomocí GIS nástrojů vizualizovat. Na základě naměřených dat tuto svahovou nestabilitu definuji, popíšu a nachystám podklady pro její doplnění do Registru svahových nestabilit České geologické služby.

3 Metody práce

V teoretické části jsem metodou rešerše čerpal informace z různých relevantních zdrojů českých, ale i zahraničních autorů. Popsal jsem fyzickogeografickou charakteristiku Hrubého Jeseníku jako celku, kde jsem nastínil obecné poměry v této lokalitě. Vzhledem k charakteru mé diplomové práce bylo nutné definovat, co to jsou svahové nestability a jaké mají projevy. Pro následné terénní výzkumy bylo potřeba zjistit co nejvíce historických dat z dostupné literatury. Stěžejní informace jsem převzal z práce Sokola (1965), Gáby (1992, 1993) a Kutálka (2005). Jako důkaz vývoje v monitoringu svahových procesů jsem popsal současně hojně využívanou metodu LiDAR.

Po získání historických dat jsem se zaměřil na vlastní terénní výzkum. V případě výzkumu na Břidličné hoře jsem využil historicky vzniklé metodiky a vytvořil podklady na další etapu dlouhodobého měření pomalého sesuvu na Břidličné hoře. Data byla zaměřena totální stanicí, která je současným nástupcem dříve používaného teodolitu. Data jsem následně kartografickou metodou vizualizoval v prostředí GIS a vytvořil z databáze tabulky, které interpretují naměřená data. Po provedeném terénním šetření a vyhodnocení nástroji GIS jsem se zaměřil i na výhody a nevýhody použité metodiky sběru dat a porovnal současný stav měřické sítě. Tyto poznatky jsem pak uplatnil při návrhu vlastní metodiky dlouhodobého monitoringu pomalých sesuvů.

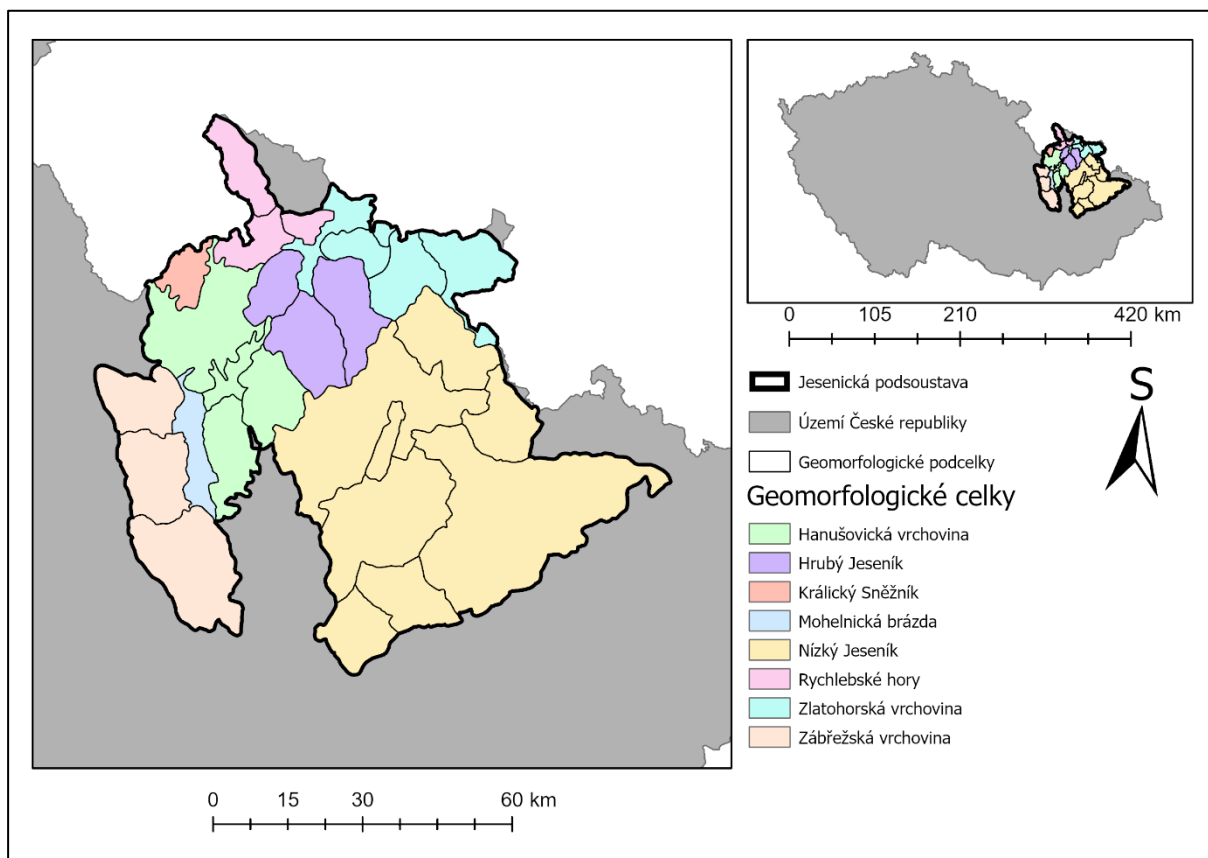
Při výzkumu strží po murových sesuvech jsem se snažil využít co nejvíce dostupných nástrojů. V první části tohoto výzkumu jsem využil produktů ESRI a na webových aplikacích ArcGis Online jsem připravil podklady pro terénní mapování aplikací Field Maps a Collector v mobilním telefonu. Naměřená data jsem pak ponechal v prostředí ArcGis Online, kde jsou i fotografie jednotlivých zaměřených lokalit. V druhé části terénního výzkumu strží jsem využil možnosti zaměřování pomocí GNSS přístroje Leica GS18. V terénu byla zaměřena strž a její vývoj napříč reliéfem. Naměřená data byla vizualizována v prostředí GIS.

Pro účely případného doplnění sesuvu do Registru svahových nestabilit evidovaných Českou geologickou službou bylo třeba provést analýzu podkladových dat Digitální technické mapy 5. generace (DMR 5G) a vytipovat oblasti, které nejsou evidovány v Registru svahových nestabilit České geologické služby. Ve vytipované oblasti proběhlo posouzení, zda se jedná o sesuv nebo jiný geodynamický jev. Vybraný sesuv vhodný pro zaměření a následnou evidenci jsem navštívil a prováděl zaměření. Při této metodě jsem použil laserový měřič pro přesné měření délek a nivelační lať pro přené měření výšek. Sesuv byl vytyčen dřevěnými kolíky, které

byly následně zaměřeny. Pro lepší a přesnou vizualizaci těchto naměřených dat jsem zaměřil 3 body pomocí GNSS přístroje Leica GS18 v souřadnicovém systému S-JTSK, abych zajistil jejich přesné zobrazení v prostředí GIS: Tato naměřená data jsem následně porovnával s vrstevnicemi o intervalu 0,5 m, které jsem vytvořil z podkladové rastrové mapy DMR 5G poskytnuté z ČÚZK.

4 Fyzickogeografická charakteristika Hrubého Jeseníku

Hrubý Jeseník je celek v Jesenické soustavě. Je to členitá hornatina s rozlohou 523,35 km², střední výškou 887,6 m a středním sklonem 13°55'. Jedná se o druhé nejvyšší pohoří v České republice a nejvyšší na Moravě (Demek et al. 2006).



Obr. 1 Umístění zájmového území v rámci České republiky a geomorfologické členění Jesenické podsoustavy
Zdroj: ArcČR 500; Demek 2006; vlastní zpracování

4.1 Geomorfologické poměry

Geomorfologický celek Hrubý Jeseník spadá do Hercynské oblasti, provincie Česká Vysočina, Krkonošsko-Jesenické soustavy a Jesenické podsoustavy. Jesenická podsoustava se dále člení na 8 geomorfologických celků: Hanušovická vrchovina, Hrubý Jeseník, Králický Sněžník, Mohelnická brázda, Nízký Jeseník, Rychlebské hory, Zlatohorská vrchovina a Zábřežská vrchovina (Obr. 1). Hrubý Jeseník je dále členěn na 3 geomorfologické podcelky: Keprnická hornatina, Medvěďská hornatina a Pradědská hornatina, které se následně člení na osm okrsků (Tab. 1).

Tab. 1: Geomorfologické jednotky Hrubého Jeseníku

Celek	Podcelek	Okrsek
Hrubý Jeseník	Keprnická hornatina	Šerácká Hornatina
		Přemyslovská vrchovina
	Medvěďská hornatina	Hornoopavská hornatina
		Vrbenská vrchovina
	Pradědská hornatina	Pradědský hřbet
		Vysokoholský hřbet
		Karlovska vrchovina
		Desenská hornatina

Zdroj: Demek et al. 2006, vlastní zpracování

Nejvýše položená část Hrubého Jeseníku se nachází v jeho centru, kde se nachází i nejvyšší vrchol Praděd (1491,3 m n. m.) a nadmořská výška směrem k jeho hranicím klesá. Jednotlivé geomorfologické podcelky jsou od sebe odděleny sedly (Videlské a Červenohorské sedlo).

Krajina má horský ráz s hluboce zařezanými údolními, které hojně dosahují hloubky přes 300 m (v případě mnou zkoumané údolí Hučivé Desné dokonce i přes 400 m). Hrubý Jeseník prošel složitým geomorfologickým vývojem a byl vytvořen několika horotvornými procesy. V důsledku Variského vrásnění na konci prvohor vzniklo pohoří středohorského rázu. Kvůli dlouhotrvající denudační činnosti bylo již na konci prvohor bylo toto pohoří postupně sníženo. Snížení vyvrcholilo ve svrchní křídě až oligocénu a vytvořila se parovina. Vlivem dozvuků alpského vrásnění se tato parovina začala zmlazovat. Celá kra Hrubého Jeseníku byla oproti kře Nížkého Jeseníku vyzdvížena. V Hrubém Jeseníku nalezneme 4 základní kry (centrální kra Pradědu, severovýchodní kra Medvědího vrchu, severovýchodní soustava malých ker tvořících Jesenickou kotlinu a severozápadní kra Keprníku). Tímto způsobem vznikl hlavní hřbet hrubého Jeseníku probíhající od Šeráku přes Červenou horu, Praděd, Vysokou holi na Pec. Zvednutí Hrubého Jeseníku způsobilo významnou erozní činnost zapříčiněnou vodními toky, a to mělo za důsledek vznik dnešních hlubokých údolí. Vniklo tu četné množství strží, především v povodí Hučivé Desné a Branné. V době ledové se posun severského ledovce zastavil v severní části pohoří. Na závětrných stranách nejvyšších vrcholů Hrubého Jeseníku vznikalo místní horské zalednění. Periglaciální denudace způsobila na dnech údolí a úpatí svahu významné akumulace. Na některých vrcholech je možno vidět zbytky holorovin, které byly přetvořeny kryogenními pochody. Přímým působením ledovce se vytvořil kar Velké kotliny a např. Sněžná kotlina s Jelením žlebem byly vytvořeny pozůstatkem pleistocenního firnového ledovce (Křížek, 2016). Je zde možné najít velké množství kryogenních tvarů. Mezi typické

patří kryoplanační terasy, mrazové sruby, izolované skály, balvanová moře, strukturní půdy a balvanové proudy. Je to v důsledku mrazového zvětrávání, kdy vtékala voda do prasklin skal a kamenů, při nízkých teplotách zamrzala a způsobovala oddělování kamenných bloků. Tímto způsobem vznikly mrazové sruby, které se mohly přetvářet v izolované skály, tory nebo skalní hradby. Rozpadem těchto tvarů vznikají balvanové proudy a kamenná moře. Kamenná moře mohou vznikat také při obnažení skalního podkladu zvětráváním mrazových stupňů. Petrovy kameny jsou typickým příkladem mrazového srubu a v blízkosti se nachází i rozsáhlé kryoplanační terasy. Skalní hradbu i mrazové sruby najdeme na obří skále a skalní hrabu lze nalézt také v oblasti Černé stráně a Vozky. Na Černé stráni jsou také tory. Polygonální půdy lze nalézt na Keprníku, nebo také na nejvyšším vrcholu Pradědu (Degen 1991).

Neustálému přetváření podléhají vodní toky, vodopády a kaskády. Vodopády v Hrubém Jeseníku jsou nízké a kaskádovité jako například vodopády Bíle Opavy. V postglaciálním období se v sedlech a na plochých hřebenech rozvíjela rašeliniště. Největší rašeliniště Hrubého Jeseníku se vyskytují na Rejvízu (zároveň největší rašeliniště na Moravě) (Křížek 2018).

4.2 Geologické poměry

Geologický vývoj v Hrubém Jeseníku je poměrně složitý. Zachovaly se zde horniny od dob starohor až po čtvrtohory. Nejvíce zastoupené jsou metamorfované horniny. Jsou zde horniny krystalinika, jádra jsou tvořena rulami, obal je především z metamorfovaných devonských kvarcitů a fylitů a na západě pohoří se vyskytují amfibolity (Demek et al. 2006). V období od proterozoika do spodního paleozoika se území Hrubého Jeseníku nacházelo na dně moře. Základní rysy byly formovány především variskou orogenezí v paleozoiku, později tektonickými pohyby na začátku paleogénu. Povrch byl zlomy rozdělen na jednotlivé kry, z nichž se některé zvedaly. V mezoiku se zde nacházela poušť a části pohoří byly zhlazeny do paroviny. Kvůli poklesu některých ker v mladších třetihorách byl vyzdvižen dnes známý hlavní hřbet hrubého Jeseníku. V devonu probíhala sedimentace a v silésiku probíhala sopečná činnost, která vytvořila jesenický a sobotínský amfibolitový masiv. V pleistocénu po ústupu kontinentálního Skandinávského ledovce začala povrch ovlivňovat fluvialní eroze. Vodní toky splavovaly písčité materiály, který se usazoval v údolích. Následně až do současnosti je povrch Hrubého Jeseníku převážně přetvářen v důsledku svahových nestabilit a jejich projevů (mury) a sněhových lavin (Melzer 1993).

4.3 Pedologické poměry

Struktura půd v Hrubém Jeseníku je poměrně pestrá. V nižších polohách se vyvinuly různě nasycené kambizemě (převážně mezotrofní). Půda je zde středně hluboká až hluboká, písčitohlinitá, tmavěji zabarvená s poměrně dobrou absorpční kapacitou a příznivou biologickou aktivitou. Na kyselých stanovištích převažuje kambizemě oligotrofní a podzolové. Jsou převážně mělké až středně hluboké, hlinitopísčité až písčité. Významná část půd má větší či menší stupeň podzolizace s kyselou reakcí a malou absorpční kapacitou. V nižších částech údolních svahů a na okrajích pohoří se nachází kambizemě dystické. Ve vyšších polohách převládají horské hnědé půdy kryptopodzoly. Na živných písčitých stanovištích kryptopodzoly mezotrofní a na kyselých hlinitopísčitých kryptopodzoly oligotrofní. V horských polohách se vyskytují horské podzoly. Vznikají na kyselých horninách v humidním klimatu. Hlavním typem půd v této oblasti jsou kambizemní podzoly. Jsou to mělké až středně hluboké kyselé půdy s mocnou vrstvou humusu. V nejvyšších polohách převládají humuso-železité podzoly. Na skalnatých a kamenitých lokalitách jsou zastoupeny rankery, kambizemě a kryptopodzoly rankerové. Na strmých srázích jsou půdy nevyvinuté (Břidličná hora). Podél vodních toků a na vlhkých stanovištích se nachází kryptopodzoly a kambizemě pseudoglejové, pseudogleje i gleje. Zvláštním typem půd jsou polygonální půdy, které vznikly v chladných periodách čtvrtohor (např. na Vysoké holi). Na Keprníku se vyvinuly thufury (Šafář a kol. 2003).

4.4 Klimatické poměry

Hrubý Jeseník se nachází na rozhraní dvou klimatických oblastí. Doznívající vlivy atlantského klimatu se zde setkávají se západní hranicí kontinentálního klimatu. Vyznačuje se západním větrným prouděním, které přináší velké množství srážek. Dle Quitta (1971) je horská část Hrubého Jeseníku řazena do chladné oblasti (CH4, CH6, CH7) a ostatní části spadají do mírně teplé oblasti (MT7, MT9). Jednotlivé typy klimatických oblastí jsou definovány následovně:

- CH4 – léto je velmi krátké, chladné a vlhké, přechodné období velmi dlouhé s chladným jarem a mírně chladným podzimem, zima je velmi dlouhá, velmi chladná a vlhká s velmi dlouhým trváním sněhové pokrývky (oblast Pradědu, Keprníku, Vozky, Šeráku, Orlíku).
- CH6 – léto velmi krátké až krátké, mírně chladné, vlhké až velmi vlhké, přechodné období je dlouhé s chladným jarem a mírně chladným podzimem, zima je velmi dlouhá, mírně chladná, vlhká s dlouhým trváním sněhové pokrývky (Karlova Studánka, Ludvíkov, Kouty nad Desnou, Vidly, oblast Skřítku, Ostružná, Ramzová).

- CH7 – léto je velmi krátké až krátké, mírně chladné a vlhké, přechodné období je dlouhé, mírně chladné jaro a mírný podzim. Zima dlouhá, mírná, mírně vlhká s dlouhým trváním sněhové pokrývky (Rýmařov, Jesenicko, Branná, Vrbensko, Loučná nad Desnou, Sobotín).
- MT7 – normálně dlouhé, mírné, až mírně suché léto, přechodné období krátké, s mírným jarem a mírně teplým podzimem, zima je, mírná, suchá, s krátkým trváním sněhové pokrývky (okolí Nového Malína, Bedřichova, Velkých Losin, České Vsi a Ondřejovic).
- MT9 – léto je dlouhé, teplé, suché až mírně suché, přechodné období je krátké, s mírným až mírně teplým jarem a mírně teplým podzimem, zima je krátká, mírná, suchá, s krátkým trváním sněhové pokrývky (Mikulovice) (AOPK 2012).

Pro Hrubý Jeseník jsou typické velké klimatické rozdíly na relativně krátké vzdálenosti, což je důsledek výrazné relativní výškové členitosti.

4.5 Flora a fauna

V současnosti je flora a fauna Hrubého Jeseníku důsledkem dlouhodobého vývoje od poslední doby ledové ve starších čtvrtohorách. Převažuje zde extrazonální horská vegetace montánního až subalpínského stupně. Na nepatrné výjimky se zde nenachází teplomilné druhy. Téměř na celé rozloze Hrubého Jeseníku se nachází velkoplošně chráněná krajinná oblast Jeseníky. Plošně zde převládají lesní fytocenózy. Jsou to zejména bučiny, v nižších polohách, na živných substrátech květnaté bučiny a na chudších horninách kyselé bikové bučiny. Ve výše položených polohách nalezneme smrkové bučiny a bučiny s javorem klenem. Horní hranice lesa je tvořena klimaxovými smrčínami a nad nimi se nacházejí bezlesé hole. Přírozená horní hranice lesa se pohybovala v polohách přibližně jako ta současná (okolo 1350 m n. m.). V současné době v Hrubém Jeseníku převažují vlivem antropogenní činnosti především druhotné bučiny. Květnaté bučiny se zde zachovaly přibližně do 1000 m n. m. jako přírozené nebo polopřírozené porosty s bohatým bylinným patrem. Najdeme je například v údolí Divoké Desné, Mertvy a méně v údolí Hučivé Desné. Jejich výskyt je vázán na svažitý a členitý reliéf, čímž je pro ně Hrubý Jeseník příhodným místem. Acidofilní horské bučiny jsou navázány na hřebenové polohy. Tyto porosty tvoří přechod mezi květnatými bučinami a klimaxovými smrčínami. V tomto stromovém patře se prosazuje také javor klen. Nachází se v oblasti Červenohorského sedla, méně v oblasti Hučivé a Divoké Desné. Charakterem se velmi blíží k suťovým a roklinovým lesům (ty se nachází na extrémních svazích). Přírozené acidofilní smrkové bučiny se nacházejí v nadmořské výšce okolo 800–1200 m na oligotrofních horninách

a druhotně také jako degradační stádia květnatých bučin. Na rozdíl od květnatých bučin mají chudě bylinné patro. Je to vegetace plochých horských hřbetů a tvoří přechod mezi bučinami a klimaxovou smrčínou. Klimaxové smrčiny se částečně zachovaly při horní hranici lesa a spolu s druhotnými smrčínami zaujímají největší rozlohu z lesních porostů v Hrubém Jeseníku. Hojně se zde vyskytuje smrk ztepilý a ojediněle jeřáb ptačí. Na podmáčených půdách jsou časté rašelinné smrčiny, které obvykle lemují vrchovištní rašeliniště. Najdeme je například mezi Vozkou a Keprníkem a pod Petrovými kameny. Na extrémních stanovištích se zachovaly reliktní bory. Podél vodních toků je rekonstruovaná vegetace pobřežních luhů. Typickým příkladem je okolí Hučivé Desné, kde se tyto typy stromů vysazovaly v rámci sanačních opatření po murových sesuvech v roce 1921 (Gába 1993). Na lavinových drahách se nachází společenstva listnatých keřů a vysokých bylin. Na velkých plochách lesní vegetace a kulturní krajiny se nacházejí také přirozené hole. Vynikají vysokou diverzitou se zástupci místních endemitů. Podobné typy vegetací lze v České republice nalézt jen v Krkonoších a Králickém Sněžníku. Na místech mechanicky ovlivňovaných větrem a sněhem se nachází vyfoukávané alpské trávníky. Horské hřbety pokrývají krátkostébelné porosty a v místech s déle ležícím sněhem vysokostébelné porosty. Velmi druhově bohatou vegetaci rostlin lze nalézt na závětrných polohách karů a v turbulentních prostorech anemo–orografických systémů. Rozsáhlé přirozené bezlesí se rozprostírá na hřbetu od Ztracených kamenů přes Pec, Pecný, Břidličnou horu, Jelení hřbet, Máj, Kamzičník, Vysokou holi až k Petrovým kamenům a dále na vrcholu Pradědu a Keprníku. Vyskytuje se zde celá řada endemitů. Jitrocel černavý sudetský a hvozdík kartouzek sudetský ve Velké kotlině, lipnice jesenická a zvonek český jesenický v oblasti Petrových kamenů a zvonek okrouhlostý sudetský, který se nachází pouze v Hrubém Jeseníku a Krkonoších. Tyto endemity (i řada dalších) řadíme mezi 34 kriticky ohrožených druhů nacházejících se v Hrubém Jeseníku. Dalších 32 druhů, které se zde vyskytují, řadíme mezi silně ohrožené druhy. (Šafář a kol. 2003).

Fauna je v hrubém Jeseníku daleko méně prozkoumaná než flora. I tak lze ale potvrdit, že je oblast Hrubého Jeseníku útočištěm mnoha ohrožených živočišných druhů. Ochrana zdejší přírody zabezpečuje vhodné životní podmínky pro současnou faunu. Pro účely studií se zpracovávají projekty, které se týkají např. sokola stěhovavého, mihule potoční, tetřeva hlušce nebo rýsa ostrovida. Ověřují se a zkoumají jejich přirozené biotopy s cílem zajistit jejich územní ochranu, či její případnou obnovu. Mezi postglaciální relikty můžeme zařadit sýce rousného, ořešníka kropenatého nebo myšivku horskou. Stejně jako u flory, tak i u fauny je věnována pozornost endemitům. Mezi ně například patří zdejší poddruh okáče menšího.

Kriticky ohrožených druhů zvířat je zde zjištěno 21 a kromě výše uvedených se jedná např. o čolka karpatského nebo zmiji obecnou. Dalších 50 druhů zde se vyskytujících živočichů je silně ohroženo. Jedná se o vybrané obojživelníky (čolek skvrnitý, mlok skvrnitý), plaze (ještěrka obecná a ještěrka živorodá), ptactvo (čáp černý, tetřívka obecná), savce (rys ostrovid, rejsek horský) a bezobratlé (žluťásek borůvkový). Ohrožených druhů zde bylo zjištěno 40 (např. užovka obojková nebo výr velký). V opuštěných dolech se nachází zimoviště netopýrů. Stále dochází k objevům neznámých druhů, zejména mezi bezobratlými. Zásadní vliv na ohrožené druhy živočichů měl zásah člověka v 2. polovině 20. století. Úpravy vodních toků brání přirozené migraci a na některé vodní živočichy může mít vliv obnova a budování vodních elektráren (Šafář a kol. 2003).

5 Svahové nestability v České republice

Geodynamické jevy, kam řadíme sesuvy ovlivňovaly krajiny již v minulosti. Jedná se o přirozený jev přetváření krajiny, který může být více či méně ovlivněn lidskou činností. Pokud gravitační svahové procesy dosáhnou geomorfologického extrému, tak kromě přetvoření krajiny mohou zapříčinit rozsáhlé škody na sídelní infrastruktuře a často si vyžádají i lidské oběti. Špůrek (1972) uvádí, že gravitační svahové procesy (typu blokových pohybů na svazích a skalního řícení) v období let 1345–1970 zapříčinily celosvětově smrt nejméně 108 280 osob. Jedná se o doložená úmrtí, reálný počet může být daleko větší. Klasifikace podle mechanismu a rychlosti svahových sesuvů

Sledovat se začaly v 19. století. Příkladem může být rok 1898, kdy u Klapého na úpatí Hazemburku na ploše 5 ha se dala do pohybu asi 4 m mocná nadložní vrstva. V nedalekém Klapém pobořila přes 30 domů (Vitásek 1954). V práci V. Dědiny je popsáno sesouvání půdy v Hošťálkové na Valašsku. Ve dnech 12.-13. ledna 1919 se svezla půda o rozloze 14 ha (pohyb o rychlosti 7 až 8 m za hodinu. Řadu dalších příkladů z České křídové tabule, flyšových poloh Beskyd, Javorníků, Hostýnských vrchů a diluviálních nánosů Hlučínska popisovali Q. Záruba-Pfeffermann. Něco podobného z oblasti Jihomoravských Karpat rozvádí Woldřich a Stejskal.

Vitásek ve svém fyzickém zeměpisu (1954) uvádí jako velmi rozšířené sesuvy (tehdy sesuny) plošné, u nichž tloušťka sesouvaných zemin je relativně malá v poměru k rozloze plochy postižené sesuvnou činností. Na svazích s větším sklonem vzniká sesouvání kerné, podél sesuvných ploch. Třetím typem jsou proudové sesuvy vznikající v úzkých erozních rýhách, vhloubených do mohutných poloh eluviálních svahových hlín.

Sesuvy vznikají na smykových plochách, a odpovídají již stávajícím vrstevním spárám a puklinám v hornině nebo se vytvářejí v podobě rotačních smykových ploch, typické pro soudržné zeminy, jako jsou slíny, jíly nebo hlíny (Záruba, Mencl 1957). Při těchto pohybech sjíždějí celé komplexy hornin, jež nemusí být příliš porušeny. Při povrchových plošných a proudových sesuvech se uplatňuje rozbředání zemin nasáklých vodou, teda proces blízký soliflukci. Není potřeba zdůrazňovat, že náchylnost k sesuvům mají určité horniny (Ložek, 1973) a to zejména jílovité s vodonosnými sedimenty (permokarbon České vysočiny, některá souvrství České křídové tabule, oblasti s výskytem flyšových hornin v Karpatech). Z hlediska svahové sedimentace mají sesuvy význam v tom, že dochází k přemísťování velkých mas materiálu, jež náhle překrývají v sedimentačním prostoru starší povrch. Ten je pak fosilizován. Sesuvy mohou postihnout kvartérní fosiliferní vrstvy, které se posléze v sesuvných

akumulacích mohou několikrát nad sebou opakovat a překrývat povrchy někdy daleko mladší. V odlučných prostorech často vznikají mělké vodní nádrže. Ty jsou postupně zanášeny terigenním nebo limnickým (jezerním) popř. rašelinným materiálem.

V minulosti u Hošťálkové byl zahrazen Eliščin potok v malé jezírko. Čermák ve své práci vydané v roce 1912 popsal případ z 28.5.1872, kdy hmoty stékající po svazích u Mladotic na Plzeňsku zahradily údolí a vytvořily jezero dlouhé 0,5 km a 100 široké. Zahrazení údolí Hučivé Desné uvádí ve své práci také Gába. Vzniklo pro přívalových dešťových srážkách, na hřbetu Hrubého Jeseníku, dne 1. června 1920. Zahrazení údolí bylo pouze krátkodobé, a po přetržení přírodní hráze byly níže po toku zaznamenány větší škody.

Od typologie a popisu důsledku geodynamických jevů badatelé přistupovali ke sledování ploch potenciálně ohrožených sesuvy. Jednalo se o geomorfology Geografického ústavu ČSAV v Brně, kteří mj. založili na několika lokalitách řadu bodů k dalšímu sledování. Podrobněji bude uvedeno dále v textu. Sesuvy a jejich evidence patřily do kompetencí Státní geologického ústavu a později České geologické služby. Flyšové Karpaty byly soustavně mapovány. Při terénních šetřeních docházelo k vylišování aktivních sesuvným území a těch stabilizovaných.

5.1 Klasifikace podle mechanismu a rychlosti svahových sesuvů

Gravitační svahové procesy dělíme do čtyř základních skupin: ploužení sesouvání, stékání a řícení.

5.1.1 Svahový proces ploužení

Svahový proces ploužení patří mezi velmi pomalé svahové procesy (pohyb v řádech mm za rok). Rychlost může být tak nízká, že je tento proces bez citlivých měřících přístrojů prakticky nemožné ověřit. Mohou být tedy označovány jako nejméně nebezpečné. Tyto svahové procesy však musí být včas identifikovány a respektovány v případné výstavbě sídel, či přetváření krajiny. V opačném případě může mít lidský zásah do tohoto svahového procesu za následek nebezpečné zrychlení pohybu tohoto svahového sesuvu. Ploužení dále dělíme na podpovrchové ploužení (rozvolňování skalního svahu, gravitační vrásnění a blokové pohyby) a povrchové ploužení. Ploužení může být iniciální fází pro následující typy svahových procesů (Němčok et al. 1974).

5.1.2 Svahový proces sesouvání

Dalším typem gravitačního procesu je sesouvání. Je to poměrně rychlý (pohyb v řádech cm až m za den) a krátkodobý pohyb. Vzniká na svahu podél jedné či více průběžných smykových ploch. Výsledkem je sesuv. Sesouvání se dále (dle Němčok et al. 1974) dělí na:

- Sesouvání podél rotační smykové plochy–vytvářejí se v homogenních jílovitých horninách, pahorkatinách a nížinných oblastech na březích řek a vodních ploch.
- Sesouvání podél rovinné smykové plochy–smyková plocha je předurčena v důsledku geologického nebo tektonického rozhraní.
- Sesouvání podél složené smykové plochy–sesuvy podél složené, zakřivené a rovinné smykové plochy. Vyskytují se zejména v horizontálně uložených jílovitých, prachových a slinitých sedimentech.

Sesouvání je nejčastější dokumentovaný typ svahového procesu postihující v České republice rozsáhlé oblasti Českého Středohoří, Poohří nebo Beskyd.

5.1.3 Svahový proces stékání

Stékání je velmi rychlý (v řádech km za hodinu) krátkodobý pohyb horninových hmot ve viskózním stavu. Stékající hmoty jsou odděleny od neporušeného podloží a přemístěny po povrchu terénu na velkou vzdálenost (i stovky metrů). Výslednou formou je proud. Stékání se vyskytuje nepravidelně a je vázán na extrémní srážky. Dále se dělí na (Němčok et al. 1974):

- Stékání svahových jílovitých a hlinitopísčitých zemin v podobě proudů.
- Stékání hlinitého a úlomkovitého svahového materiálu na strmých svazích působením přívalových vod. Příkladem mohou být mury nebo seli.
- Stékání vodou prosycených povrchových partií povrchových útvarů. Jev nastává v období tání sněhu a ledu a také po nadměrných srážkách.

5.1.4 Svahový proces řícení

Řícení je velmi rychlý a krátkodobý (v řádech vteřin) svahový proces. Postihuje horninové hmoty na strmých svazích. Postižené horninové hmoty (např. erozí) se rozvolní, krátkodobě ztrácejí kontakt s podložím a v důsledku volného pádu se přemístí směrem po spádnicí. Může zde předcházet svahový proces ploužení. Tento jev se převážně vyskytuje v oblasti skalních měst např. v oblasti Broumovska, Hřenska nebo Českého Ráje (Němčok et al. 1974).

5.2 Výzkum sesuvů v České republice

Po extrémních srážkách v červenci 1997 vzniklo velké množství sesuvů, mnohdy s katastrofálními následky. Náklady na nápravu škod v dalším období činily asi 1 miliardu Kč. Řešila se otázka škod na hmotných objektech a na životním prostředí. Úkolem mapování sesuvů jako důsledky extrémních srážek z roku 1997 byl pověřen na brněnském pracovišti ČGS Dr. O. Krejčí. Vedle mapování probíhala a probíhá rozsáhlá publikační činnost (např. Kirchner, Krejčí 1998; Rybář et al. 1998; Rybář 1999, Krejčí a kol. 2002, Krejčí a kol. 2008, Krejčí a kol. 2019).

ČGS od roku 1962 do roku 2010 k sesuvům přistupovala podle jednotné metodiky a vytvářela databázi sesuvů. K 31.12 1980 registr obsahoval 4221 objektů svahových deformací (Krejčí a kol. 2020). Významně se na mapování podílel J. Rybář. Systematické mapování probíhalo až po roce 1997. Poté byla data z terénu vložena do databáze a je online dostupná na stránkách České geologické služby pod názvem registr svahových nestabilit (RSN). V roce 2018 databáze obsahovala 19 242 objektů z nichž bylo 5220 bodových a 14 022 plošných (Kolektiv 2019). O rok později Krejčí uvádí již 5534 bodových a 15 144 plošných sesuvů (Krejčí a kol. 2020). Postupně se celostátní databáze plní dalšími lokalitami s prokázaných výskytem sesuvu nebo více sesuvů.

Jak byly uváděny velké sesuvy v minulosti, tak nelze opomenout také ty, jež vznikly již ve 21. století. Vlivem několika okolností dne 7.června 2013 zavalil mohutný sesuv svahovin dálnici D8. Státisíce tun hlíny a kamení po vydaných červencových srážkách gravitačně sjely, při svém pohybu zničily železniční trať a rozestavěnou část D8 (Kačírek 2017). Uvedený sesuv byl zpracován do animace a vizualizován. Je dostupný ke shlédnutí na videu Vysoké školy báňské a technické univerzity v Ostravě (dostupné na https://youtu.be/_0B4s1BuyBM).

Na Ostravské univerzitě se postupně vytvářel tým, který se věnoval sesuvům flyšových Karpat. Za použití moderních metod byla snaha datovat na vybraných lokalitách sesuvy a zjišťovat jejich stáří. Tým kolem Tomáše Pánka se věnuje sesuvům dlouhodobě a publikoval mnoho výsledků bádání. Studován byl také poměrně velký sesuv z roku 2010 na Girové dosahující hloubky až 15 m a délky 50 m (Pánek a kol. 2011). Mezi další vědecky ceněné výsledky patří využití lidarových dat a jejich interpretace při studiu sesuvných ploch (Pánek a kol. 2019).

Dynamické jevy na svazích budou předmětem dalších bádání specialistů a jejich závěry napomohou hlouběji proniknout do problematiky sesuvů. Tím předvídat možné dopady na lidské aktivity.

6 Svahové nestability v historii Hrubého Jeseníku

Svahové nestability jsou přirozenou součástí všech pohoří, které postupem času přetváří reliéf krajiny. Jsou výrazně ovlivněny vegetací, vyskytující se nejen na svazích, ale i v údolních částech. Přeměna původních smíšených lesů na dnešní převážné smrkové monokultury má za následek výskyt nebezpečných svahových pohybů. V historických záznamech o jesenických lesích, jako třeba nejstarších archiválních popisech a mapách lesů Hrubého Jeseníku, v popisech lesů tereziánského a josefského katastru z konce 18. století a počátku 19. století, ale ani v novějších lesních mapách a popisech lesních porostů nejsou zmínky o sesuvech, kamenných mořích nebo sutích, ačkoliv byly tyto jevy významným parametrem pro oceňování ploch k následnému zdanění (Sokol 1965).

6.1 Svahové sesuvy v povodí Branné

V oblasti Hrubého Jeseníku se první doložené sesuvy půdy datují v roce 1880. Vznikly v povodí Branné na svazích mezi Šerákem, Keprníkem a Vozkou ve dnech 8. a 9. srpna 1880. Tyto sesuvy se následně rozšířily během letních přívalových dešťů v roce 1893. V hospodářské lesní správě pro polesí Kolštejn pro období 1904–1913 je v úvodní historické části uvedeno, že tyto jevy, které se vyskytují pouze v Alpách, nebyly dosud nikde v Sudetech pozorovány.

Velikosti sesuvů zakreslil tehdejší zřizovatel lesní správy do porostních map. Celková výměra sesuvů vzniklých v první fázi byla 14,38 ha. Při přívalovém dešti 27. července 1893 nastala druhá fáze sesuvů celkem šesti sesuvů na svazích Keprníku. Po dvou hodinách dešťů se nejprve sesunuly slabé vrstvy lesní půdy se smrkovými porosty a následně i svahové sutě, které se nacházely pod slabou vrstvou lesní půdy. Obrovská masa svahových sutí se společně se značným objemem vody sunula po svahu vodním přívalem a ničila přemostění a přechody v údolí Branné až k sídlům. Obnažené plochy po sesuvu zůstaly odkryty až na skalní podloží. V ojedinělých případech zde zůstaly oblasti s půdou, v nichž ale vznikly hluboké stržovité rýhy (Sokol 1965). Sesuvy půdy s sebou nesly, již zmíněnou, velkou masu převážně smrkových stromů. Část z nich se dostala společně se sutí do údolí a část z nich zůstala vyvrácena na svazích. Pro dopravu a následné využití dřeva se začaly stavět úzkorozchodné lesní železnice. Touto problematikou se zabývám ve své bakalářské práci *„Antropogenní tvary dočasné dráhy na JJV svazích Černé Stráně v Přemyslovské vrchovině“*. V oblasti Branné byly postaveny dvě od sebe oddělené úzkorozchodné tratě, které ale měly společnou správu a provoz. U státní železnice ve Františkově bylo v roce 1888 vybudováno překladiště na nakládání dřeva. Začínala zde také trasa první úzkorozchodné železnice, která dále vedla podél

řeky Branné až do zaniklé osady Josefová a měla délku téměř 6 km. Jakmile se v praxi zjistila obrovská efektivita těchto úzkorozchodných lesních železnic, tak se začaly budovat navazující tratě a svážné dráhy. Druhá lesní železnice začínala u hájovny Banja Luka na severu Branné u rampy normálně rozchodné tratě. Tato železnice dále vedla podél Klepáčovského potoka až k Hrázní boudě. Délka této trati byla 5,8 km (Gába 2009).



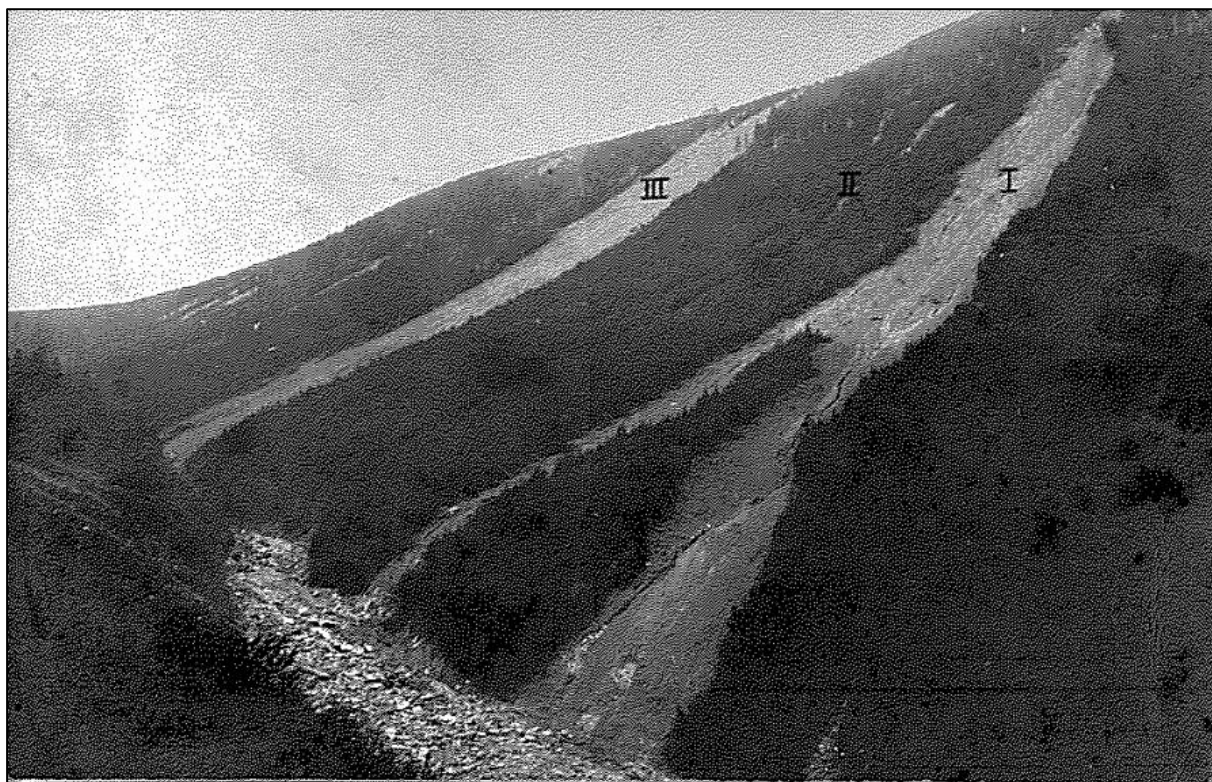
Obr. 2 Fotografie sesuvu v povodí Branné z roku 1880
Zdroj: Sokol, 1965

6.2 Mury v Hrubém Jeseníku

Jedny z typických svahových nestabilit v Hrubém Jeseníku jsou mury. Mury lze těžko jednoznačně definovat, neboť každý autor používá jinou definici. Rubín, Balatka a kol (1986) definuje muru jako svahovou deformaci vzniklou jako následek rychlého stékání hlinitých a úlomkovitých svahových zvětralin po svazích, které mají sklon svahu od 25 do 45 stupňů. Hlavním činitelem tohoto jevu je působení přívalových vod, v rámci České republiky je to pouze působení přívalových vod způsobených dešťovými srážkami s intenzitou 30 mm až 100 mm. Gába (1993) mury definuje jako blokovobahenní proudy, které stékají po svazích velkou rychlostí a strhávají vše, co jim přijde do cesty (stromy, mosty, budovy apod.). Vznikají působením přívalových dešťů s intenzitou nejméně několika desítek mm za hodinu

a podmínkou pro jejich vznik jsou dostatečně strmé svahy (sklon nejméně 20°, zpravidla však alespoň 25°). Vhodné podmínky pro vznik mur jsou tedy: sklon svahu alespoň 25°, extrémní úhrn srážek v krátkém časovém intervalu (objem těchto srážek závisí na druhu půd, suti, hornině a míře rozpadu, druhu vegetace a velikosti svahových zvětralin) a výskytu hlinitých půd s jemnou frakcí kamenných zvětralin. Ovlivňujícím faktorem pro mury je i délka prudkého svahu. Čím je delší svah, tím více nabírá mura na síle, mocnosti a rychlosti.

Výskyt mur je omezen na vysoká pohoří, jelikož jen právě tam je možné dosáhnout faktorů zmiňovaných v předchozím odstavci. V České republice je výskyt mur znám jen v Krkonoších a Hrubém Jeseníku. Na Slovensku se mury vyskytují v oblasti Velké a Malé Fatry a ve Vysokých, Západních, Belianských a Nízkých Tatrách (Pilous 1973). Z těchto uvedených pohoří dosahuje Hrubý Jeseník nejmenších nadmořských výšek.



Obr. 3 Mury vzniklé 1. 6. 1921 na západním svahu Červené hory v údolí Hučivé Desné
Zdroj: Sokol 1965

Do roku 1960 zjistil Sokol (1965) výskyt 86 mur (jejich pozůstatků-murových drah a murových rýh), z toho 80 v Keprnické hornatině a pouze 6 v Pradědské hornatině v povodí Divoké Desné. Gába (1993) odhaduje jejich počet v roce 1993 na 95, neboť je těžké, kvůli některým okolnostem stanovit jejich přesný počet. Nejde vždy rozlišit, zda se jedná o mury, nebo její iniciační stádium jehož definici spíše sedí formulace odtrh. Dalším faktorem je to, že

jednotlivé murové dráhy mohou být používány opakovaně, přičemž se mohou rozšiřovat, prohlubovat, prodlužovat nebo dokonce spojovat. V poslední případě je v terénu velmi těžké identifikovat fosilní, stabilizované, asanované nebo zarostlé murové dráhy. Křížek a kol. (2018) prováděl v roce 2017 průzkum a vydal komplexní přehled o murách v Hrubém Jeseníku na základě snímků z roku 1936–1995. Zjistil celkem 95 murových drah a 47 murami způsobených akumulací. První zmínky o murách se v Hrubém Jeseníku v historických pramenech objevují v 2. polovině 19. století. Vznik mur se datuje k rokům 1880, 1893, 1903, 1904, 1921, 1951, 1965, 1991, 1994, 1997, 2006 a 2010 (Křížek a kol. 2018). Mury tedy nejsou pravidelným jevem a jejich četnost je v jednotkách během století, ovšem jejich intenzita je v jednotlivých datech různá.

6.2.1 Murové sesuvy v roce 1921

Dle Gáby (1993) vznikly nejmohutnější mury právě v roce 1921. Ve večerních hodinách 1. června 1921 spadlo během dvou hodin v centru přivalového deště, který se nacházel v oblasti Keprníku a Červené hory asi 180 mm srážek. V měřicí stanici na Červenohorském sedle bylo během celého dne naměřeno 1965 mm srážek. Mury vznikly v povodí Bělé, Divoké Desné a Hučivé Desné. Právě v povodí Hučivé Desné vznikl největší počet murových drah. Bylo jich celkem 9 s délkou až 800 m a šířkou většinou přes 20 m (nejširší z nich měla šířku téměř 100 m). Obrovská masa hlíny, suti a balvanů vytvořila hluboce zařezaném údolí Hučivé Desné přirozenou hráz, kterou rozvodněná řeka následně protrhla a všechny tento materiál odnesla do zastavěné oblasti Kout nad Desnou, kde se nachází soutok s (Divokou) Desnou.



Obr. 4 Dopad protržení murových hrází v Koutech nad Desnou
Zdroj: Sokol 1965

Dle Sokola (1965), který provedl jako první patrně nejdetailnější terénní výzkum murových drah vzniklých v roce 1921, se zde nacházelo celkem 7 murových drah. Beck (1969) dle dat od Sokola vytvořil mapu murových drah (Příloha č. 1). Celková plocha těchto murových drah měla 16,55 ha, sklon od 50 do 52 %, průměrnou šířku 45 metrů a průměrnou délku téměř 500 metrů. Podrobné parametry jednotlivých drah jsou uvedeny v Tab. 2. Mury číslo I., II., a III. je možné pozorovat na Obr. 3, kde je fotografie z roku 1921.

Tab. 2 Počet a rozměry murových drah podle Sokola (1965)

Číslo dráhy	Šířka (m)	Délka (m)	Sklon (%)	Plocha (ha)
I.	36	800	52	2,56
II.	13	210	52	0,50
III.	90	640	50	5,88
IV.	32	555	50	1,73
V.	94	410	50	3,87
VI.	22	460	50	1,00
VII.	25	400	50	1,01
Celkem				16,55

Zdroj: Sokol 1965

V současné době jsou tyto murové dráhy evidovány Českou geologickou službou na mapovém serveru svahových nestabilit jako jeden velký sesuv pod evidenčním číslem 6167. Vymezená plocha svahové nestability dosahuje plochy téměř 30 ha.

Mackovčín a kol. (2020) zkoumali také murové dráhy na svazích Červené hory. Využívali České geologické služby a Geofondu, kde se nachází mapový server svahových nestabilit. Dalšími zdroji pro výzkum byla interpretace základní mapy 1 : 10 000 (ZM10) a Digitálního modelu reliéfu 5. generace (DMR5G). Porovnával interpretaci murových drah dle jednotlivých mapových zdrojů a dobových snímků. Z dobových fotografií nebylo možné zcela přesně určit parametry jednotlivých mur. Z interpretace ZM10 je patrných 13 svahových proudů. Dle analýzy DMR5G zjišťuje, že se počet murových drah zvyšuje na 16.

Problematickou mur v této oblasti Hrubého Jeseníku, se zabývala také Dittmarová (2021) ve své bakalářské práci. Ta ve svém výzkumu provedla jak analýzu mapových podkladů, tak i terénní výzkum. Na základě terénního výzkumu definovala v údolí Hučivé Desné 12 murových drah. Jednu murovou dráhu určila na východním svahu Spáleného vrchu a 11 na východním svahu Červené hory. Plocha mur na západním svahu Červené hory měla rozlohu 17,217 ha. Pokud by se však plocha murových drah vyskytujících se vedle sebe spojila, tak by vznikl polygon svahových nestabilit zaujímající plochu 57,033 ha. To je zhruba o polovinu větší polygon než eviduje Česká geologická služba ve své evidenci svahových nestabilit. Další zkoumanou lokalitou v této práci byl východní svah Červené hory. V historických pramenech není dochováno, že by se někdo těmito murovými sesuvy zabýval tak podrobně, jako těmi na západní straně Červené hory. Prvním faktorem, proč tomu tak bylo, je fakt, že tyto sesuvy nenastaly v takové mocnosti a síle jako na západních svazích Červené hory a druhým faktorem je to, že tyto sesuvy nenapáchaly škody na sídlech a životech obyvatel v údolí. Sesuvy zde vznikaly v oblastech pramenů řek, proto se zde nevytvořily hráze z půdy a kamenné suti tak jako v údolí na západním svahu Červené hory. Sesunutý materiál byl pozvolna unášen řekou dále do údolí. Podrobné umístění murových drah v této oblasti je zobrazeno na mapě viz. Příloha 2.

6.2.2 Sanační opatření po roce 1921 jako prevence a náprava murových svahů

Po roce 1921 bylo nejdůležitější napravit škody v Koutech nad Desnou, způsobené protržením murové hráze v korytě Hučivé Desné (Obr. 4). Po odklizení bahna, kamenů a suti následovaly na obou svazích Červené hory sanační úpravy (viz. Přílohy 3, 5, 6). Cílem bylo zpevnit svahy Červené hory postižené murovými sesuvy, vytvořit vhodné odvodňování svahů

a upravit vhodně koryto Hučivé Desné, aby se zamezilo případným povodním. Po stabilizaci celé oblasti měla postupně dojít k osázení vhodnými stromy. Dle Sokola (1965) se sanace prováděla od nejnižše položených částí údolí až k vrcholu Červené hory. Na severovýchodní části svahu se stavební úpravy prováděly poměrně snadno a byly poměrně odolné, zatímco na jihozápadních svazích tyto práce probíhaly velice pomalu a byly také daleko méně odolné. V roce 1945 musely být na dvou třetinách plochy v níže položených oblastech palisádové ploty zrekonstruovány a ve výše položených částech se musely postavit úplně nové.

V dalších letech byl kladen důraz právě na úpravu koryta Hučivé Desné. Jako protipovodňové opatření byly v korytě vytvořeny hrazené kaskády (skládané balvany a kameny různých frakcí), které měly mírnit průtok Hučivé Desné (viz. Přílohy 4 a 9). Kollerová (2020) dále uvádí, že bylo vyčištěno dno koryta od nánosů šterku a kamení, které bránilo průtoku vody. Velké kameny byly použity při budování pobřežních zdí nebo právě hrazených kaskád. Kvůli úpravě koryta a vytvoření místa pro dočasné odkládání šterku a kamenů bylo dokonce přistoupeno k vyvlastňování pozemků v bezprostřední blízkosti vodního toku. Dalším opatřením byla výstavba kamenných přehrázek, které měly za úkol oddělit stékající vodu a splavovaný materiál ze svahů. Splavený materiál se zachycoval na stranách koryta a průtok vody byl směřován do jeho střední části. Po dokončení těchto regulačních prací byla také důležitá následná údržba vodních toků a odstraňování postupně naneseného splaveného materiálu. Na březích byly zřizovány 1 metr široké pásy, které nesměly být ničím přerušovány. To ale neznamená, že by svahy zůstaly úplně holé. Pro zpevnění svahů byly zasázeny stromy, především olše šedá (*Alnus incana*). I po roce 1945 byly prováděny různé drobnější úpravy, rekonstrukce či čištění koryta, které později napomohly alespoň částečně eliminovat riziko povodní v roce 1997.

Další fází sanačních opatření bylo vysázení vegetace. Murové svahy byly v roce 1930 po technické úpravě na osev vegetací připraveny. Kvůli zajištění svahů palisádovými ploty zde vznikaly rovinné plochy, které se nejprve musely připravit na postupné zarůstání dřevinami. V první fázi se zde vysely výtrusné rostliny typické pro zdejší oblast (mechy, kapradiny apod.). Ve druhé fázi přišly na řadu nízké byliny (opět typické druhy travin pro zdejší oblast) a také vybrané druhy keřů (maliníky, ostružiníky). Plochy bylo potřeba oplotit, jelikož byly velice náchylné na okus lesní zvěří. Ve třetí fázi se svahy osely tzv. přípravnými dřevinami (olše zelená, nebo borovice kleč). Přípravné dřeviny poskytovaly ochranu a vytvářely vhodné klima pro rostliny vyseté v první a druhé fázi sanačního opatření. Olše zelená je pro tento typ rekultivace velmi vhodná dřevina, jelikož má hluboký a rozvětvený kořenový systém. Dokáže

dobře stabilizovat půdu. Kvůli vegetačnímu cyklu bylin a dřevin a jejich odumřelých částí se zde začala vytvářet humózní půda, vhodná pro cílové dřeviny. Cílovými dřevinami jsou jasan, jeřáb, javor, buk, dub, případně borovice, smrk nebo jedle. Konečnou fází je vytvoření smíšeného a různě starého lesa, typického pro zdejší vegetační pásmo. V roce 1945 byly poškozené svahy přibližně z 1/3 jejich plochy zalesněny dřevinami. Zůstávaly zde i plochy s vrstvou sutí, nebo plochy obnažené až na skálu. Současným stavem svahů se budu zabývat ve výzkumné části této práce.

6.2.3 Murové sesuvy v roce 1991

Další významné murové sesuvy vznikly v roce 1991. Při přívalových deštích 4. července 1991 přibližně mezi 21. a 22. hodinou večer se v oblasti Keprníku vytvořily murové sesuvy. Teploty během dne odpovídaly červencovému průměru. Mrholilo během celého dne, ale prakticky veškeré množství srážek spadlo během večerní půlhodiny. Gába (1992) se těmito murovými sesuvy zabýval a zjistil, že tyto přívalové deště měli pouze místní charakter. V oblasti Keprníku nebyla žádná měřicí stanice, proto se objem srážek dá jen odhadnout na 100 mm a více. Na nejbližší měřicí stanici na Ramzové (vzdálené 4,4 km) zaznamenali pouze 3,7 mm srážek, v Jeseníku (vzdáleném 5,8 km) zaznamenali 5,8 mm srážek a na Branné (vzdálené 8,3 km) zaznamenali 59,6 mm srážek (nejvíce v okruhu 25 km). Místní charakter dešťů v oblasti Keprníku zmiňuje i Sokol (1965). Úhrn srážek nad 100 mm je přisuzován pouze hřebenové části Keprníku. Voda stékala jak do povodí Branné, tak do povodí Bělé a mury se tak vytvořily na obou svazích. V povodí Bělé vzniklo několik menších a dvě velké mury, jedna z nich představovala největší muru vzniklou v Hrubém Jeseníku v tomto roce. Měla délku 900 m, výškový rozdíl 300 m a střední sklon 19 stupňů. Hloubka murové dráhy v „suchém“ úseku (suchý úsek má délku přibližně 350 m a jedná se o nejvýše položenou část této mury) je 1 m (výjimečně 1,5 m) a šířka kolísá mezi 12 až 18 metry. Následuje „mokrá“ úsek dráhy, který má charakter spíše murové rýhy. Při vzniku využila již existující deprese a má délku asi 550 m, šířku od 5 do 14 metrů a hloubku zpravidla od 1 do 3 m (výjimečně až 5 m). Protéká zde potůček s průtokem 10–20 l/s. Skalní podklad je v „mokré“ části hojně obnažen. V povodí branné vzniklo 7 větších a 13 kratších a menších mur, ale žádná z nich nedosahovala mocnosti jako ta v povodí Bělé. Vzniklé murové dráhy v roce 1991 nabývají významných hodnot, nicméně neměly tak ničivé následky, jako mury v roce 1921 na západním svahu Červené hory.

7 Monitoring svahových nestabilit pomocí technologie LiDAR

Rychlý vývoj technologií znamená i vývoj v technikách pro získávání vysoce kvalitních dat o topografii zemského povrchu. Mezi tyto technologie patří LiDAR (Light Detection and Ranging). Jedná se o metodu leteckého laserového skenování povrchu, která poskytuje informace s vysokým rozlišením o zemském povrchu. Využívá se pro vytvoření map digitálního modelu terénu (u nás používaný DMR 5G). LiDAR data se používají především v geomorfologických analýzách, ale i při geomorfologickém mapování (Bishop 2013). Mezi výhody LiDAR měření patří jeho schopnost pronikat lesními porosty a detekovat drobné topografické prvky, což se ukazuje jako obrovská výhoda při mapování hustě zalesněného terénu, který nemusí být fyzicky přístupný. Mezi příklady úspěšného mapování patří například rozpoznání jemných geomorfních signatur sesuvů (Van Den Eeckhaut et al. 2007), tektonických rysů (Lin et al. 2013) a fluvialních tvarů v terénu záplavové oblasti (Notebaert et al. 2009). V Polsku využívali data velmi rozmanitě, od vizuální interpretace map stínovaného reliéfu, přes topografické profilování až po regionální geomorfometrickou analýzu (Kasprzak, Traczyk 2011; Traczyk, Kasprzak 2012).

7.1 Princip LiDAR

LiDAR je laserový scanner umístěný na letadle, který zjišťuje vzdálenost mezi přístrojem v letadle a bodem na zemském povrchu. LiDAR vyšle paprsek na zemský povrch a ten se následně odrazí zpět do vyslaného zařízení. Vzhledem k tomu, že známe rychlost paprsku a čas, za který se nám paprsek vrátil, tak dokážeme spočítat i vzdálenost. Tuto vzdálenost je třeba vydělit dvěma, jelikož se jedná o vzdálenost, kterou paprsek vykonal jak směrem na zemský povrch, tak i zpět k letadlu. V letadle se nachází také GNSS (Global Navigation Satellite System) stanice, dokáže LiDAR určit přesnou polohu bodů odrazu. Během jedné vteřiny vyšle na zemský povrch desítky tisíc paprsků (na 1 m² dopadnou desítky těchto paprsků). Možnosti využití LiDAR jsou limitovány snad jen počasím, případně vysokou finanční částkou potřebnou pro pořízení těchto dat.

8 Zájmové území Břidličná hora

Mezi současné trendy v geomorfologii patří sledování, měření a vyhodnocení geomorfologických procesů. Ty mohou být spouštěny přírodními procesy a/nebo lidskými aktivitami. Přetváření krajiny je převážně způsobeno, v závislosti na jejích průběhu, dvěma skupinami krajinotvorných procesů. První skupina zahrnuje rychlé (někdy označováno za katastrofické) procesy a druhou skupinu tvoří pomalé procesy. Pomalé svahové procesy se definují jako tečení půdy, tečení suti, tečení mrazových úlomků, mrazové zvětrávání a biologické svahové procesy (Young 1972). Identifikace rychlých a katastrofických svahových procesů je poměrně jednoduchá. Obvykle se jedná o sesuv, který trvá v řádech minut až hodin a ve velké míře přetváří vzhled krajiny. U pomalých svahových procesů je identifikace obtížná. Obvykle se krajina přetváří tak pomalu, že se flóra na sesouvané prostředí stihá adaptovat a nejsou pozorovatelné povrchové změny. Pro vyhodnocování pomalých svahových procesů je tedy nutné dlouhodobé pozorování a měření na založených monitorovaných bodech nebo plochách.

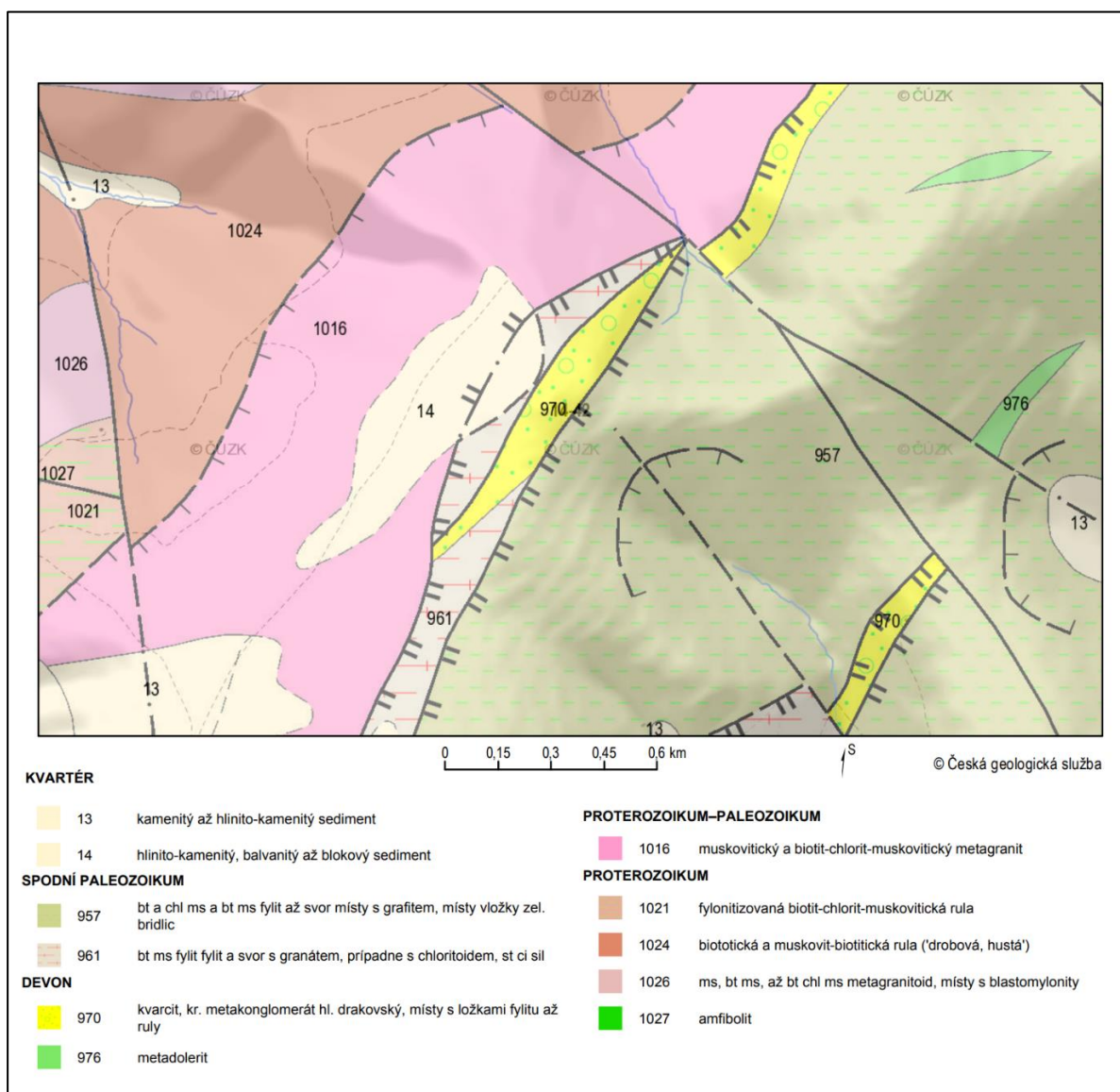
V této kapitole se budu věnovat pomalému svahovému sesuvu v oblasti Břidličné hory 1358,0 m n. m. (Demek 2006). Jedná se o kamenné moře, které je definováno jako nahromadění ostrohranných až slabě zaoblených kamenných úlomků na vrcholových partiích a svazích, které pokrývají alespoň polovinu plochy na daném místě. Kamenná moře vznikají převážně mrazovým zvětráváním, nebo podpovrchovým chemickým zvětráváním které následuje odnosem jemných zvětralin. Kamenné moře na Břidličné hoře můžeme dále definovat jako suťové moře, nachází se zde jak menší ostrohranné úlomky v podobě suti, tak místy i větší skalní bloky o velikosti více jak 250 mm a také jako alochtonní kamenné moře, jelikož se toto suťové moře nachází na prudkém svahu, tvoří se zde zvětraliny, které jsou náchylnější na přemísťování svahovými pochody (z vrcholu na úpatí Břidličné hory) a dosahuje mocnosti desítek metrů (Smolová 2007).

Zkoumání klimatických vlivů na Břidličné hoře je limitováno nedostatkem dat (měřených vhodnými nástroji) z dlouhodobého měření na těchto vrcholových částech zkoumaného území.

8.1 Historie sledování pomalých svahových procesů

V roce 1965 zahájil bývalý geografický ústav Československé Akademie Věd v Brně výběr zájmových území k dlouhodobému kvantitativnímu měření svahových procesů. Jednalo se například o oblasti Pasecká skála v oblasti Žďárských vrchů, Pulčínské skály na Valašsku, anebo právě mnou zkoumanou lokalitu Břidličná hora. Byly založeny ještě další lokality na Šumavě a Podyjí (Kutálek 2005).

Z dostupných dat proběhla nejprve identifikace a příprava k měření sesuvu (určení vhodných balvanů k pozorování a aplikace geodetických kolíků) a následně zaměření na Břidličné hoře v roce 1972. Další měření probíhala v letech 1978, 1979, 1984, 2005, 2008 a 2022.



Obr. 5 Horninová stavba území v oblasti Břidličné hory
Zdroj: ČGS 2023

8.2 Geomorfologické poměry na Břidličné hoře

Monitorovaná oblast se nachází na Břidličné hoře v Hrubém Jeseníku. Je to plochá vrcholová část, která je součástí Vysokoholského hřbetu (Demek 2006). Je oddělena Jelením hřbetem (1367,0 m n. m.) ze severovýchodu a z jižní strany vrcholem Pecný (1338,3 m n. m.) (Demek 2006). Vrcholová strukturně-denurační rovina sahá těsně nad uměle sníženou horní hranici lesa a je zakončena subhorizontálně uloženými odolnými devonskými metamorfovanými kvarcity. Nižší části svahů Břidličné hory jsou tvořeny méně odolnými grafitovými fylity. Tvoří se zde menší útesy a kamenné moře má průměrný sklon svahu přibližně 30 stupňů. Plochý vrchol na JJV straně je ohraničen asi 2 m vysokým mrazovým srubem. Na úpatí se vyvinula kryoplaneční terasa vyrovnávající zvrásněné fylity. Mrazový srub s prohlubněmi je vysoký asi 12 metrů ohraničuje vrcholovou plochu na JZ, J a JV straně. Na svazích Břidličné hory se nachází bludné balvany, které jsou důkazem nedávné soliflukce (Křížek 2007).

8.3 Geologické poměry na Břidličné hoře

Při popisu geologických poměrů vycházím z geologické mapy ČGS (Obr. 5). Vrcholová část Břidličné hory je složena devonskými kvarcity, místy složkami fylitu až ruly. Severovýchodní svah je popsán jako hlinito-kamenitý, balvanitý až blokový sediment. V této oblasti se nachází kamenné moře. Pod touto oblastí je oblast muskovitického metagranitu. Od severovýchodní, východní a jižní svahy jsou lemovány fylity a svory místy s grafitem, místy s vložkami břidlic.

8.4 Klimatologické poměry a vegetace na Břidličné hoře

Pro Břidličnou horu v oblastech nad horní hranicí lesa, je typické chladné horské klima. Vrcholová plocha a horní části svahů jsou pokryty alpskými loukami. Alpské louky lemují uměle vysazená borovice kleč (*Pinus mugo*) a v přilehlých smíšených lesích dominuje smrk ztepilý (*Picea abies*). Za nejspolehlivější ukazatel klimatu hlavního hřebene Hrubého Jeseníku jsou považovány meteorologické záznamy (1947-1985) z bývalé meteorologické stanice nedaleko Pradědu (1491,3 m n. m. Demek 2006). Průměrná roční teplota vzduchu na vrcholu Pradědu je 1,1 °C, absolutní naměřené maximum 24,4 °C a absolutní naměřené minimum je -32,6 °C. Nejchladnějším měsícem je leden, kdy je průměrná teplota vzduchu nižší než -7 °C. Teploty pod 0 °C se zde mohou vyskytnout kterýkoliv den v roce (Weismannová et al. 2004). V období 1947-1985 byl průměrný roční úhrn srážek 1216 mm. Průměrná doba trvání sněhové pokrývky na hřebenech je 6 měsíců (v extrémních letech až 8 měsíců – Kříž, Tolasz 1990). Hloubku sněhové pokrývky na hřebenech ovlivňuje silný zimní vítr. Západní větry odnášejí

v zimě sníh ze severozápadního svahu. Humlum (1997) uvádí, že hrubá kamenitá pokrývka může způsobovat ochlazení půdy v případě tenké, nebo žádné sněhové pokrývky v zimních měsících. Výzkumy výskytu a vlastností permafrostu na Sibiři ukázaly, že různé typy pokrývky povrchu a sněhové pokrývky mají významný vliv na teplotní režim země. Křížek (2007) měřil teploty půdy nad horní hranicí lesa na Keprníku (1422,8 m n. m.) v Hrubém Jeseníku v hloubkách 15 cm a 30 cm. V této lokalitě byla sezónní zmrzlá vrstva 6 měsíců. Kamenité pokrývky jsou považovány za rozhodující faktory pro rozložení zamrzlé půdy v zimních měsících. Lze tedy považovat že je kamenný pokryv (zejména kamenná moře) společně s prázdnými dutinami mezi bloky za samostatnou vrstvu půdy (Harris 2003). Mikroklimatické poměry kamenného moře se tedy budou lišit od mikroklimatologických poměrů na přilehlých svazích složených z jiných druhů povrchů.



Obr. 6 Kvarcitové bloky v suťovém moři na Břidličné hoře
Zdroj: Němec 2022

8.5 Popis zkoumaného území

Zkoumané území se nachází na okraji vrcholové roviny a pokračuje na prudkém severozápadním svahu (sklon svahu až 54°, viz Tab. 3) Břidličné hory. Svah je pokryt hranatým, hrubým, alochtonním suťovým materiálem, který tvoří suťové moře. Kamenné bloky a suť byly tvořeny mrazovým zvětráváním metamorfovaných kvarcitů a jsou volně navršeny (Obr. 6). Kamenné metamorfované kvarcitové bloky jsou pokryty mechy a lišejníky, v suti rostou traviny a bobuloviny, ojediněle je zde místy borovice kleč. Demek (2010) zde prováděl

pedologický průzkum. V okrajových částech suťového moře bylo vytvořeno 9 zkušebních jam, které ukázaly mocnost sutin od 0,4 m do 1,8 m. Mocnost suti ve středních částech se odhaduje na více než 2 m. Podloží je z části zastoupeno metamorfovanými kvarcitty (zkušební jámy VI a VIII) a částečně grafitické fylity (např. zkušební jámy V a IX).

8.5.1 Geologický profil kontrolního bodu VI

Kontrolní bod VI se nachází na okrajové části suťového moře. Dutiny mezi bloky jsou částečně vyplněny půdou, v hloubce 0,00 m až 0,40 m černou humózní půdou s rašelinou, v hloubce 0,40 m až 0,50 m se nachází velký balvan metamorfovaného kvarcitu, 0,50 m až 0,60 m je šedá hlína s úlomky grafitických břidlic o velikosti do 30 cm v delší ose, 0,60 m až 0,93 m úlomky metamorfovaných kvarcitů a grafitických břidlic o velikosti do 30 cm v delší ose, 0,93 m až 1,20 m úlomky metamorfovaných kvarcitů o velikosti do 15 cm v delší ose s rezavě hnědou půdou 1,20 m až 1,90 m bloky metamorfovaných kvarcitů do velikosti 50 cm na delší ose s červenohnědou půdou a v hloubce 1,90 m až 2,50 m se nachází skalní podloží z devonských metamorfovaných kvarcitů (Demek 2010).

8.5.2 Geologický profil kontrolního bodu IX

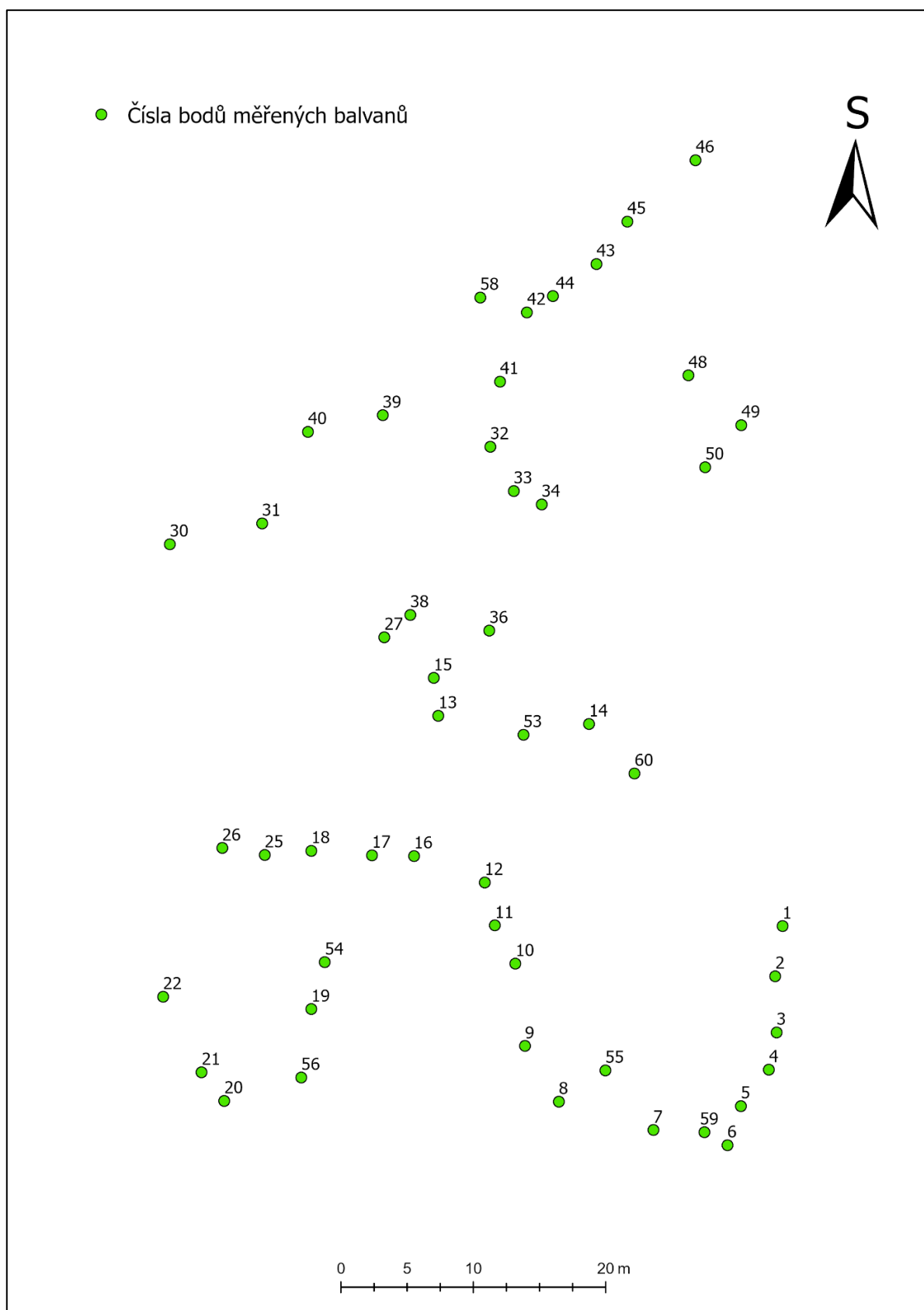
Kontrolní bod IX se nachází také na okrajové části suťového moře. Místa mezi kamennými bloky jsou volná, v hloubce 0,00 m až 0,20 m je rašelina, 0,20 m až 1,40 m jsou úlomky metamorfovaných kvarcitů o velikosti do 70 cm v delší ose, 1,80 m až 2,10 m jsou drobné úlomky grafitických břidlic s hnědou hlínou a v hloubce 2,10 m až 2,90 m je skalní podloží z devonské grafitické břidlice (Demek 2010).

Tab. 3 Rozdělení balvanů do skupin podle sklonitosti svahu

Sklon svahu ve stupních	Počet balvanů	Procentuální zastoupení balvanů
0–5	2	3,51
6–9	3	5,26
10–14	1	1,75
15–19	6	10,53
20–24	12	21,05
25–29	20	35,09
30–34	6	10,53
35–39	3	5,26
40–44	2	3,51
45–49	1	1,754
50–54	1	1,75
Celkem	57	100,00

Zdroj: Demek 2010; vlastní zpracování

Z Tab. 3 můžeme pozorovat, že se drtivá část (77,19 %) monitorovaných balvanů nachází na svazích o sklonu od 15° do 34° . Přibližně uprostřed monitorovaného území se na spádnicí nachází mělká deprese.



Obr. 7 Plánek zájmové oblasti s čísly monitorovaných balvanů, čísla podle založení v roce 1972
Zdroj: Vlastní zpracování

8.6 Použité metody

Sledování pomalých svahových procesů je založeno na dlouhodobém pozorování pohybu kamenných bloků. V tomto případě byly kamenné bloky navrtány a do každého z nich byla vložena kovová tyč s dřevěnou výplní (o průměru cca 4 cm), do níž se zatloukl kovový geodetický hřeb s podložkou. Dále se zde nachází měřická síť, která byla stabilizována trubkami. Od prvního měření uplynulo 50 let, a tak jsou v současnosti kovové hřeby značně zkorodované. Dle Kutálka (2005) měly archivní materiály z měření dvojí úpravu. Jednak šlo o grafické znázornění posunů na tzv. olizardu a druhou verzí byly souřadnice a výšky v tabulkách. Tyto hodnoty byly v místním souřadnicovém systému. Pro navázání geodetického měření je možné použít pouze tabulky se souřadnicemi a výškami. V archivních materiálech je také uvedeno, že měření probíhalo v minulosti ve dvou etapách. Napřed byly změřeny výškové posuny pomocí metody nivelace ze středu přístrojem Zeiss Koni 007 a následně byly změřeny i vertikální posuny, při nichž byla použita právě měřická síť. Měla být měřena pomocí paralaktického měření základnovou latí Ballalat' a úhly s přesností na gradové vteřiny. Až do roku 2005 byla používána stejná metoda i přístroj k měření.

V původní zprávě je deklarovaná přesnost 0,1 mm V současnosti můžeme ale říct, že tato metoda měla přesnost 0,2 až 0,3 mm. Problémem u této metody dlouhodobého pozorování pohybu kamenných bloků je stabilizace pevných bodů. Dřevo a kovové hřeby by mohly způsobit změnu výškového horizontu, jelikož každá změna vlhkosti a teploty může pravděpodobně změnit výšku srovnávacího horizontu. Další jev, který může ovlivnit měření, je koroze geodetických hřebů umístěných v balvanech. Měření výšek to zdaleka neovlivní tak jako měření posunů, jelikož není možné určit přesný střed geodetického hřebu. Může zde být naměřena odchylka v řádech milimetrů, aniž by došlo k posunu sledovaného kamene.

Zaměřování balvanů proběhlo 5. listopadu 2022 v čase 9:00 do 14:30 a podmínky pro geodetické měření byly velmi náročné. Při probíhající geodetické zaměření jsem se pohyboval po prudkém svahu, byla mlha mrholilo a byl nárazový vítr. Dle měření se zde v tento den pohybovala teplota od 3,2 do 4,8 °C Pohyb po suťovém moři komplikovaly již zmíněné lišejníky a mechy, které pokrývaly balvany. Ty byly po namočení kluzké až znemožňovaly pohyb. Výběr vhodného období byl velice komplikovaný, jelikož lze jen těžko předpovědět počasí v těchto vrcholových oblastech. Dalším faktorem byla potřeba zajistit asistenci profesionálního geodeta, který dohlížel na správnost měření a použitých metod tak, aby byla dodržena co nejpreciznější kvalita zaměření monitorovaných balvanů. Celkově se zde nachází 57 dlouhodobě monitorovaných bodů umístěných na balvanech různých rozměrů. Při mém

měření v roce 2022 bylo však nalezeno pouze 50 geodetických bodů na balvanech (obr. 7). Hledání proběhlo i s pomocí předpřipraveného plánu v místním souřadnicovém systému, avšak hned 7 označených balvanů nebylo nalezeno. Jedním z důvodů může být to, že se balvany sesouváním otočily a geodetický bod se v současnosti nachází na spodní straně. V úvahu přichází i to, že se nenalezené balvany nacházejí v oblasti s humózní půdou, a tak mohly zarůst mechy, případně jiným druhem vegetace. Pro další měření doporučuji použití vhodného detektoru kovů, který může pomoci k lokalizaci kovových trubek s geodetickými hřeby v balvanech. V Tab. 4 můžeme pozorovat velikosti monitorovaných balvanů rozdělených do intervalů. Monitorované balvany mají délku nejdelší osy od 0,4 m až do 2 m.



Obr. 8 Zkoumané území s růžově označenými sledovanými balvany
Zdroj: Němec 2022

Tab. 4 Rozdělení monitorovaných balvanů do intervalů dle délky jejich nejdelší osy

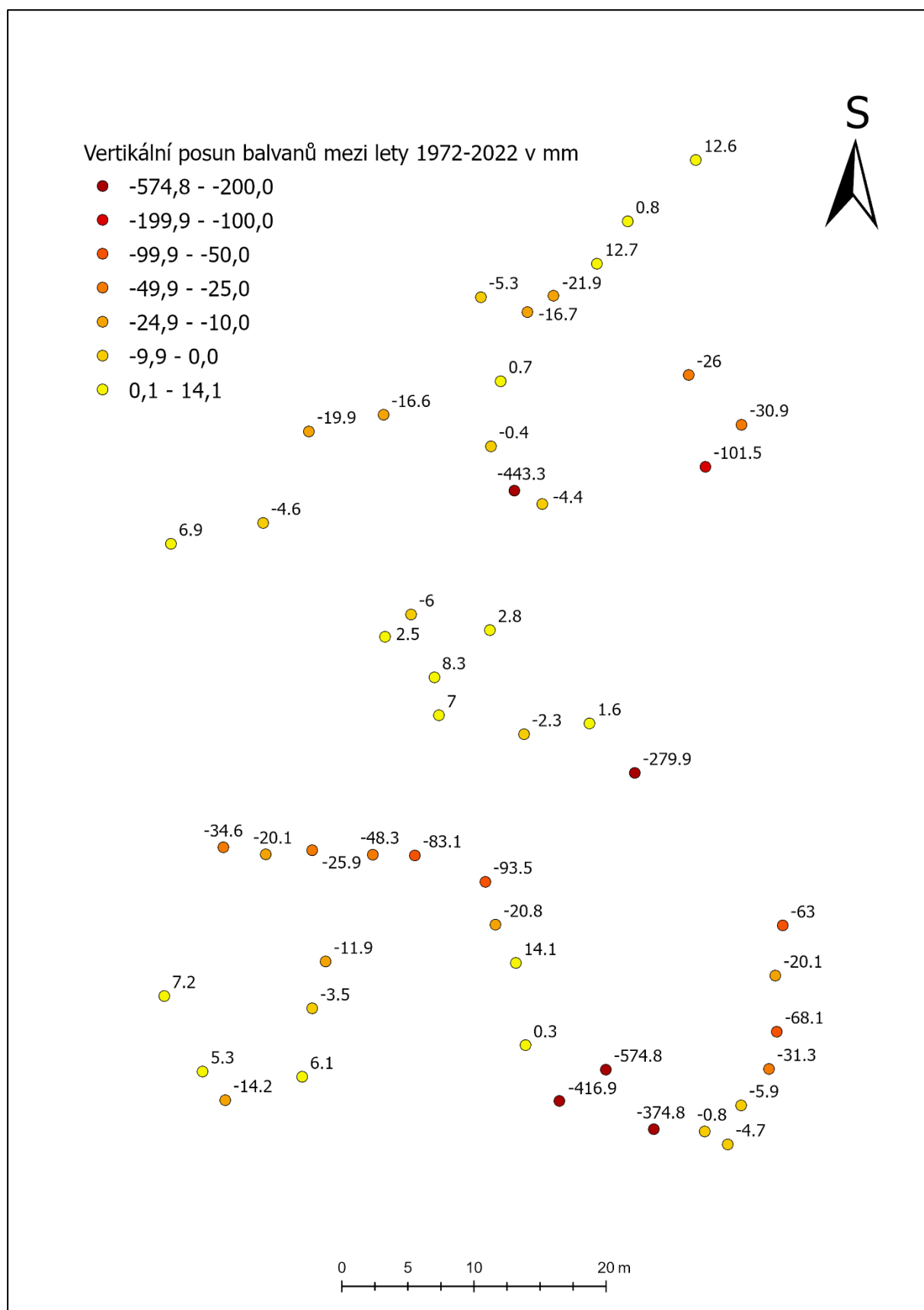
Délka nejdelší osy balvanu v m	Počet balvanů	Procentuální zastoupení
0,40–0,49	1	1,75
0,50–0,59	4	7,02
0,60–0,69	10	17,54
0,70–0,79	10	17,54
0,80–0,89	4	7,02
0,90–0,99	10	17,54
1,00–1,09	3	5,26
1,10–1,19	5	8,77
1,20–1,29	5	8,77
1,30–1,49	3	5,26
1,50–1,99	1	1,75
2,00	1	1,75
Celkem	57	100,00

Zdroj: Demek 2010; vlastní zpracování

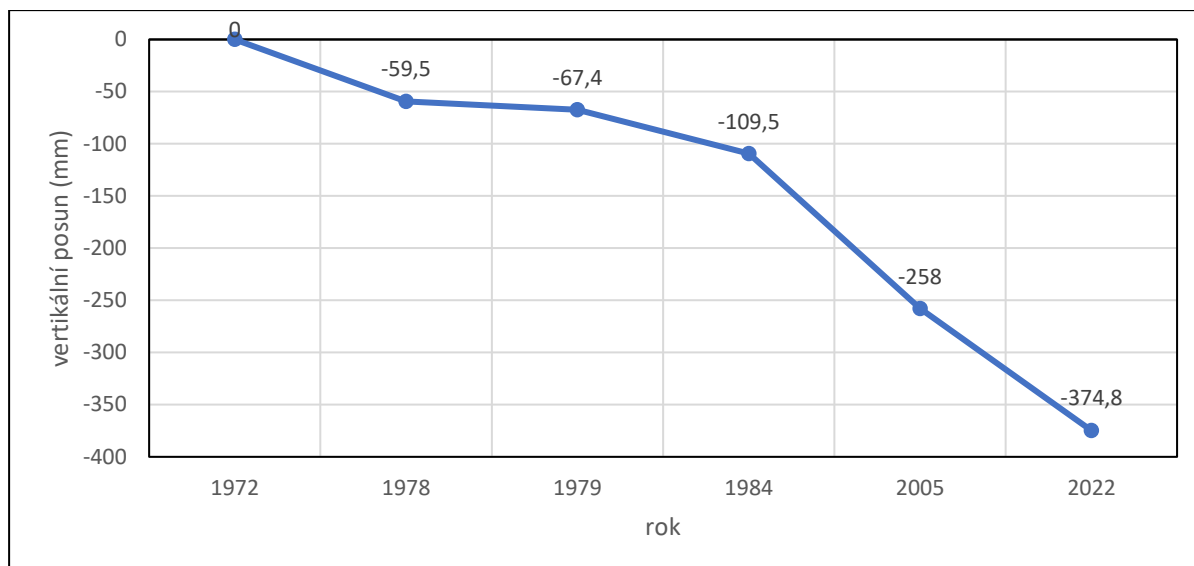
8.7 Výsledky měření

Geodetické měření potvrdilo pomalé pohyby sledovaných balvanů na monitorované ploše. Mechanismy a určení trendu pohybu je poměrně složité. Pokud porovnáme roky 1972 a 2022, tak má 5 monitorovaných balvanů (10 %) posun zanedbatelný (do 1 mm) v rámci odchylky měření. Kladnou hodnotu výškového posunu (posun nahoru) má hned 12 monitorovaných balvanů (24 %). Je zde možné riziko chyby v měření. Ve většině případů jsou tyto balvany v blízkosti dalšímu balvanu s kladnou hodnotou výškového posunu (viz. Obr. 9) znázorněno světle žlutou barvou), takže v těchto případech lze chybu v měření vyloučit. Kladné hodnoty vznikají rotací balvanu za působení sněhu a mrazu. Výjimkou může být monitorovaný balvan číslo 30 (posun nahoru o 6,9 mm). Vedle něj rostl mladý smrk pichlavý, jehož kořeny mohly prorůstat půdou pod balvanem a tím ho stabilizovat, a dokonce i posunout o necelých 7 milimetrů nahoru. Osm monitorovaných balvanů (16 % z celkového počtu) mělo hodnotu do 10 mm vertikálního posunu dolů. Pokud vezmeme v úvahu, že se jedná o vertikální posun za dobu 50 let (v průměru desetina milimetru za rok), tak jsou tyto pohyby zanedbatelné. Zajímavé hodnoty sesuvů u 20 monitorovaných balvanů (40 % z celkového počtu), jelikož se nich nachází vertikální posuny dolů nabývajících hodnot od 11,9 mm do 101,5 mm. Jedná se o vertikální posuny, které se blíží nejvíce k průměrnému vertikálnímu posunu dolů. Posledních 5 monitorovaných balvanů (10 % z celkového počtu) nabývají extrémních hodnot od 279,9 mm do 574,8 mm vertikálního posunu dolů. Jedná se o balvanové bloky, které se nacházejí na nejvíce nestabilním podloží. V následujících analýzách jsem proto udělal dvojí výpočty.

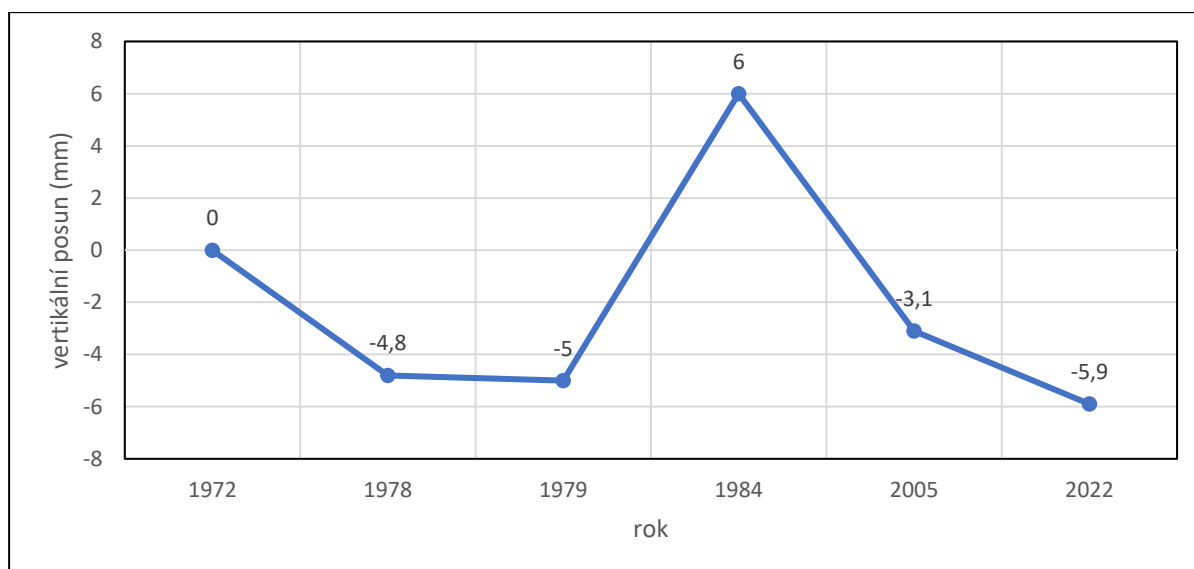
V jednom jsem vzal v potaz těchto pět extrémů a v druhém jsem je pro výpočet nepoužíval, jelikož významně zkreslují výsledky.



Obr. 9 Plánek vertikálních posunů balvanů mezi lety 1972-2022
Zdroj: Vlastní zpracování



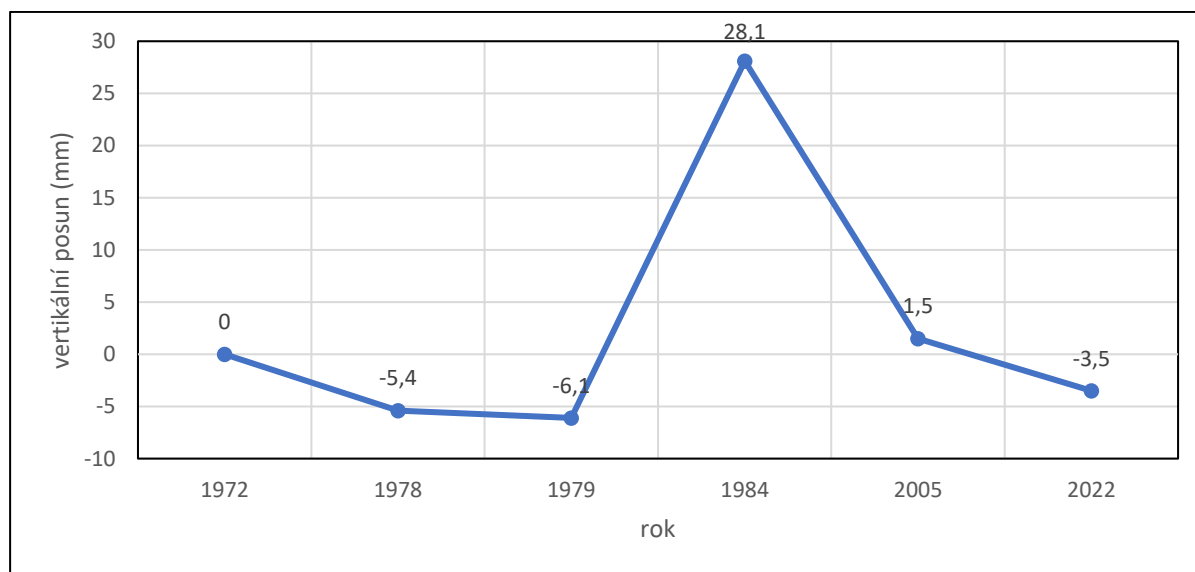
Obr. 10 Vertikální pohyby monitorovaného balvanu číslo 7 oproti roku 1978
Zdroj: Kutálek 2005, naměřená data; vlastní zpracování



Obr. 11 Vertikální pohyby monitorovaného balvanu číslo 5 oproti roku 1978
Zdroj: Kutálek 2005, naměřená data; vlastní zpracování

Pro nastínění různých trendů ve vertikálním pohybu monitorovaných balvanů jsem vybral tři typické příklady. Na Obr. 10 můžeme vidět sestupný pohyb monitorovaného balvanu číslo 7 bez žádných anomálií. Z naměřených dat můžeme usoudit, že se jedná o přirozený sesuv balvanů, bez antropogenních vlivů. Naopak na Obr. 11 a 12 pozorujeme postupný pohyb monitorovaných balvanů číslo 5 a 19, avšak mezi lety 1979 a 1984 pozorujeme vertikální posun nahoru v případě balvanu číslo 19 jde o téměř 4 cm. Tyto balvany se od sebe nacházejí poměrně ve velké vzdálenosti na to, aby příčinou tohoto vertikálního pohybu nahoru byl stejný činitel.

V úvahu připadá důsledek přirozené, či antropogenní činnosti, případně chyba v měření v roce 1984.



Obr. 12 Vertikální pohyby monitorovaného balvanu číslo 19 oproti roku 1978
Zdroj: Kutálek 2005, naměřená data; vlastní zpracování

Tabulka 5 představuje základní charakteristiku všech monitorovaných balvanů. Je zde zobrazen rozměr balvanů (délka × šířka × výška), sklon svahu v místě balvanu a celkový pohyb balvanu oproti roku 1978 (mínusová hodnota značí vertikální pohyb balvanu dolů, plusová hodnota značí vertikální pohyb nahoru v důsledku rotace bloků, přirozené nebo antropogenní činnosti)

Tab. 5 Monitorované balvany, jejich rozměr v metrech, sklon svahu v místě, na kterém se nachází a vertikální posun

bod č.	rozměry balvanů v metrech	sklon svahu se stupních	celkový posun mezi lety 1972-2022 v mm
1	1.0 × 0.55 × 0.12	18	-63,0
2	0.9 × 0.70 × 0.10	7	-20,1
3	1.2 × 0.40 × 0.25	7	-68,1
4	0.75 × 0.50 × 0.20	7	-31,3
5	0.80 × 0.40 × 0.10	5	-5,9
6	0.65 × 0.65 × 0.15	27	-4,7
7	0.94 × 0.46 × 0.12	18	-374,8
8	0.65 × 0.50 × 0.10	32	-416,9
9	0.93 × 0.55 × 0.08	25	0,3
10	0.78 × 0.52 × 0.10	18	14,1
11	0.75 × 0.55 × 0.25	22	-20,8
12	1.20 × 0.55 × 0.35	22	-93,5
13	0.63 × 0.60 × 0.08	22	7,0
14	1.30 × 1.10 × 0.25	26	1,6

bod č.	rozměry balvanů v metrech	sklon svahu se stupních	celkový posun mezi lety 1972-2022 v mm
15	0.80 × 0.80 × 0.18	20	8,3
16	1.55 × 0.85 × 0.35	31	-83,1
17	0.95 × 0.58 × 0.30	22	-48,3
18	0.60 × 0.30 × 0.10	31	-25,9
19	0.70 × 0.60 × 0.08	29	-3,5
20	1.15 × 0.75 × 0.10	30	-14,2
21	1.10 × 0.90 × 0.25	37	5,3
22	1.30 × 0.60 × 0.15	20	7,2
23	0.75 × 0.70 × 0.25	28	nenalezeno v roce 2022
24	0.56 × 0.35 × 0.25	40	nenalezeno v roce 2022
25	1.15 × 0.90 × 0.20	27	-20,1
26	0.60 × 0.50 × 0.45	30	-34,6
27	1.05 × 0.95 × 0.13	27	2,5
28	0.90 × 0.40 × 0.15	27	nenalezeno v roce 2022
29	0.65 × 0.58 × 0.35	15	nenalezeno v roce 2022
30	1.00 × 0.75 × 0.30	27	6,9
31	1.10 × 0.85 × 0.15	30	-4,6
32	0.40 × 0.25 × 0.25	26	-0,4
33	0.65 × 0.35 × 0.15	45	-443,3
34	0.95 × 0.50 × 0.35	54	-4,4
35	0.60 × 0.40 × 0.12	25	nenalezeno v roce 2022
36	1.20 × 0.62 × 0.20	20	2,8
38	0.70 × 0.50 × 0.18	40	-6,0
39	0.75 × 0.75 × 0.17	25	-16,6
40	1.25 × 0.40 × 0.68	27	-19,9
41	0.75 × 0.55 × 0.20	27	0,7
42	1.30 × 1.25 × 0.10	37	-16,7
43	0.95 × 0.50 × 0.25	27	12,7
44	0.60 × 0.35 × 0.35	27	-21,9
45	2.00 × 1.00 × 0.30	25	0,8
46	0.50 × 0.45 × 0.25	15	12,6
48	0.75 × 0.45 × 0.15	15	-26,0
49	0.65 × 0.35 × 0.05	25	-30,9
50	0.90 × 0.80 × 0.15	23	-101,5
51	1.20 × 0.60 × 0.18	12	nenalezeno v roce 2022
53	0.80 × 0.60 × 0.18		-2,3
54	0.55 × 0.35 × 0.22	23	-11,9
55	0.80 × 0.25 × 0.20	22	-574,8
56	0.50 × 0.35 × 0.35	36	6,1
57	0.70 × 0.55 × 0.35	5	nenalezeno v roce 2022
58	1.15 × 1.0 × 1.50	29	-5,3
59	0.95 × 0.60 × 0.27	23	-0,8
60	0.97 × 0.50 × 0.27	27	-279,9

Zdroj: Kutálek 2005; Demek 2010; naměřená data; vlastní zpracování

Pro potřeby analýz byl vypočten průměrný celkový posun všech kamenných bloků ve dvou variantách. V první variantě jsem použil všechna dostupná data. Ve druhé variantě jsem ve výpočtech vyloučil posuny pěti monitorovaných bloků, které nabývaly extrémních hodnot (vertikální posuny o 279,9 mm a více), abych vyloučil náhodné pohyby a zkreslení v analýze.

Tab. 6 Průměrné celkové posuny balvanů rozdělené podle sklonu svahu

Sklon svahu ve stupních	Počet balvanů	Průměrný celkový posun (mm)	Průměrný celkový posun bez extrémů (mm)
0–9	4	-31,35	-31,35
10–19	5	-87,42	-15,58
20–24	11	-75,12	-25,15
25–29	18	-21,11	-5,89
30–54	12	-86,53	-17,81

Zdroj: Kutálek 2005; Demek 2010; naměřená data; vlastní zpracování

Ke sledování průměrných vertikálních pohybů balvanů v závislosti na sklonu svahu (Tab. 6) jsem balvany rozdělil do pěti základních skupin: 0–9°, 10–19°, 20–24°, 25–29°, 30–54°. V kategorii 0–9° se nenacházely žádné extrémní hodnoty, a proto je průměrný celkový vertikální pohyb stejný v obou kategoriích a to 31,25 mm dolů po svahu. V kategorii 10–19° lze pozorovat nejvýraznější rozdíl. Zatímco s extrémními hodnotami je celkový vertikální posun dolů 87,42 mm, bez extrémních hodnot je to pouze 15,58 mm. Velký rozdíl v hodnotách je dán tím, že se v této kategorii nachází pouze pět balvanů. V kategorii 20–24° se nachází 11 balvanů. Průměrný celkový vertikální posun i s extrémními hodnotami byl 75,12 mm směrem dolů a bez extrémních hodnot nabýval pouze 25,15 mm směrem dolů. V kategorii 25–29° je poměrně malý rozdíl v obou kategoriích. Průměrný celkový vertikální posun i s extrémními hodnotami byl 21,11 mm směrem dolů a bez extrémních hodnot nabýval pouze 5,89 mm směrem dolů. V poslední kategorii 30–54° je opět velký rozdíl ve variantách průměrného vertikálního posunu. Ve variantě s extrémními hodnotami nabývá posun 86,53 mm dolů a ve variantě bez extrémních hodnot nabývá vertikální posun pouze 17,81 mm směrem dolů. Mezi sklonem svahu a hodnotami vertikálních posunů balvanů nelze pozorovat přímá souvislost. Všechny čtyři balvany z kategorie 0–9° se nachází v bezprostřední blízkosti a jsou poměrně dobře dostupné k nedaleké turistické trase. Můžeme zde uvažovat o antropogenním vlivu na vertikální posun balvanů.

Tab. 7 Průměrné celkové posuny balvanů rozdělené do skupin podle nejdelší osy balvanů

Délka nejdelší osy balvanu (m)	Počet balvanů	Průměrný celkový posun (mm)	Průměrný celkový posun bez extrémů (mm)
0,40–0,59	4	1,60	1,60
0,60–0,69	8	-121,40	-18,50
0,70–0,79	8	-11,17	-11,17
0,80–0,89	4	-143,68	0,03
0,90–0,99	9	-90,76	-23,16
1,00–1,19	8	-11,56	-11,56
1,20–1,29	4	-44,67	-44,67
1,30–2,00	5	-18,04	-18,04

Zdroj: Kutálek 2005; Demek 2010; naměřená data; vlastní zpracování

V další analýze jsem zkoumal závislost celkového vertikálního posunu balvanů v závislosti na délce jejich nejdelší osy. Balvany byly rozděleny do osmi skupin: 0,40–0,59 m, 0,60–0,69 m, 0,70–0,79 m, 0,80–0,89 m, 0,90–0,99 m, 1,00–1,19 m, 1,20–1,29 m a 1,30–2,00 m (viz. Tab. 7). Pokud se podíváme na průměrné vertikální posuny balvanů i s extrémů, tak nejvyšších vertikálních posunů dolů nabývají v intervalech 0,60–0,69 m a 0,80–0,89 m. V intervalu 0,40 m–0,59 m je průměrný vertikální pohyb balvanů 1,6 mm směrem nahoru. Je to důsledkem toho, že se zde nenachází žádná extrémní hodnota a zároveň se jedná o ty nejmenší balvany, a může tu být riziko otočení kvůli mrazu a ustupujícímu sněhu v jarních měsících. Po vyloučení extrémních hodnot jsou největší vertikálními posuny v kategoriích 1,20–1,29 m a 0,90–0,99 m.

Tab. 8 Průměrné celkové posuny balvanů rozdělené podle objemu balvanů

Objem balvanů (m ³)	Počet balvanů	Průměrný celkový posun (mm)	Průměrný celkový posun bez extrémů (mm)
0,010–0,049	12	-124,34	-6,34
0,050–0,099	14	-40,11	-14,36
0,100–0,149	11	-43,27	-19,61
0,150–1,725	13	-21,35	-21,35

Zdroj: Kutálek 2005; Demek 2010; naměřená data; vlastní zpracování

V tabulce 8 celkové vertikální pohyby monitorovaných balvanů v závislosti na jejich objemu. Balvany byly rozděleny do čtyř početně přibližně stejných intervalů. Největší průměrný vertikální posun můžeme pozorovat u kategorie 0,010–0,049 m³, což jsou ty nejméně objemné sledované bloky. S rostoucím objemem můžeme pozorovat, že se průměrný vertikální posun dolů zmenšuje až na hodnotu 21,35 mm vertikálního posunu směrem dolů u intervalu 0,150–1,725 m³.

9 Výzkum murových strží na západním svahu Červené hory

Terénní výzkum mur na svazích Červené hory jsem prováděl ve dvou dnech, konkrétně 19. července 2022 a 10. září 2022. Při každém měření jsem použil jiných metod při mapování.

9.1 Poloha Červené hory

Červená hora (1332,6 m n. m.) se nachází v geomorfologickém podcelku Keprnická hornatina. V její blízkosti se nachází několik dalších významných kót. Na západě Spálený vrch (1313 m n. m.) na severozápadě Vozka (1337 m n. m.), na severu Keprník (1423 m n. m.), na severovýchodě Točník (1143 m n. m.) a na jihojihozápadě Šindelná hora (1126 m n. m.). Nejbližšími sídly jsou na severovýchodě Filipovice (část obce Bělá pod Pradědem) a na jihu Kouty nad Desnou (část obce Loučná nad Desnou).

9.2 Terénní výzkum 19. července 2022

Při tomto terénním výzkumu jsem chtěl použít nejnovějších možností mobilního mapování a aplikací od ESRI, konkrétně aplikaci Field Maps a Collector, které jsou dostupné pro mobilní telefony s operačním systémem Android. Pro tyto potřeby jsem si vytvořil podkladové vrstvy v prostředí ArcGis Online. Jako podkladovou vrstvu jsem použil Digitální model reliéfu 5. generace (DMR5G). Obrovskou výhodou těchto aplikací je, že při pořizování polohových dat je možno ke každému např. bodu pořídit i fotografii. Usoudil jsem, že pro mé potřeby je to nejvhodnější nástroj pro terénní měření. Výsledná naměřená data jsou dostupná v prostředí ArcGis Online na následujícím odkaze: <https://arcg.is/y8CiX>. Náhled nalezneme na obr. 13.

Vlivem sanací východního svahu Červené hory původní murové dráhy téměř zanikly a zarostly vegetací. V současné době by se daly původní murové dráhy nazvat spíše jako strže, které odvodňují západní svah Červené hory. V terénu jsem svůj výzkum začal na levém břehu Hučivé Desné v místě, kde končí zpevněná cesta. Zajímaly mě převážně rozměry a umístění jednotlivých strží v místě jejich největší mocnosti, tj. v nejnižší položených částech svahu. Rozměry jednotlivých strží byly zaměřeny pomocí pásma a jejich poloha zaznamenána pomocí GPS v mobilním telefonu do aplikace Field Maps. Ke každému zaměřenému bodu byla v aplikaci Field Maps pořízena i fotografie s konkrétní strží. Jednotlivé fotografie se dají zobrazit ve webové aplikaci Map Viewer dostupné přes odkaz v předchozím odstavci. Vzhledem k hustému lesnímu porostu a použitému GPS modulu v mém mobilním telefonu mi aplikace Field Maps ukazovala přesnost zaměřovaných bodů ± 4 metry, což jsem vzhledem k použitému zařízení považoval za uspokojivé. Pro potřeby mého výzkumu je tato přesnost

dostačující. V terénu jsem narazil také na kamenné zídky které mohou být pozůstatkem sanačních opatření v níže položených svazích Červené hory (viz Příloha 10). Na svazích severozápadně od vrcholu Červené hory se nachází četné množství tzv. opilých stromů (viz. Příloha 13). Jedná se o jev, který vzniká při pomalém sesuvu svahů. Sesouvaný svah naklání kořenový systém stromu a tím celou jeho nadzemní část směrem po spádnici. Tyto sesuvy jsou v řádech jednotek cm za rok. Stromy přirozeně rostou přímo a mají tendenci, v případě náklonu kořenového systému, narovnávat i svou nadzemní část. Důsledkem toho je zaoblení ve spodní části kmene. Stromy jsou poměrně snadno rozpoznatelné a kvůli tomuto vizuálnímu efektu jsou označovány jako opilé stromy. Pomalé sesuvy půdy ovlivňují stromy především v rané fázi jejich růst, a to z důvodu, že ještě nemají vytvořený komplexní kořenový systém. Opilé stromy jsou různého stáří (dle odhadu až 80 leté stromy), a proto lze usuzovat, že ve vybraných částech západního svahu Červené hory působí pomalý sesuv půdy již od provedení sanačních úprav po murových sesuvech po roce 1921.

Tab. 9 Naměřené rozměry strží v jejich nejmnocnějším místě dne 19. června 2022

Pořadí strží směrem k prameni Hučivé Desné	Šířka strže (m)	Maximální hloubka strže (m)
1	3,50	0,70
2	5,60	1,05
3	7,80	0,95
4	11,10	3,80
5	6,20	1,15
6	6,80	1,90
7	6,30	1,70
8	4,70	1,80
9	7,10	1,10
10	10,30	3,20
11	9,30	1,20
12	3,40	0,65
13	7,20	0,85
14	5,40	1,55
15	6,20	1,45

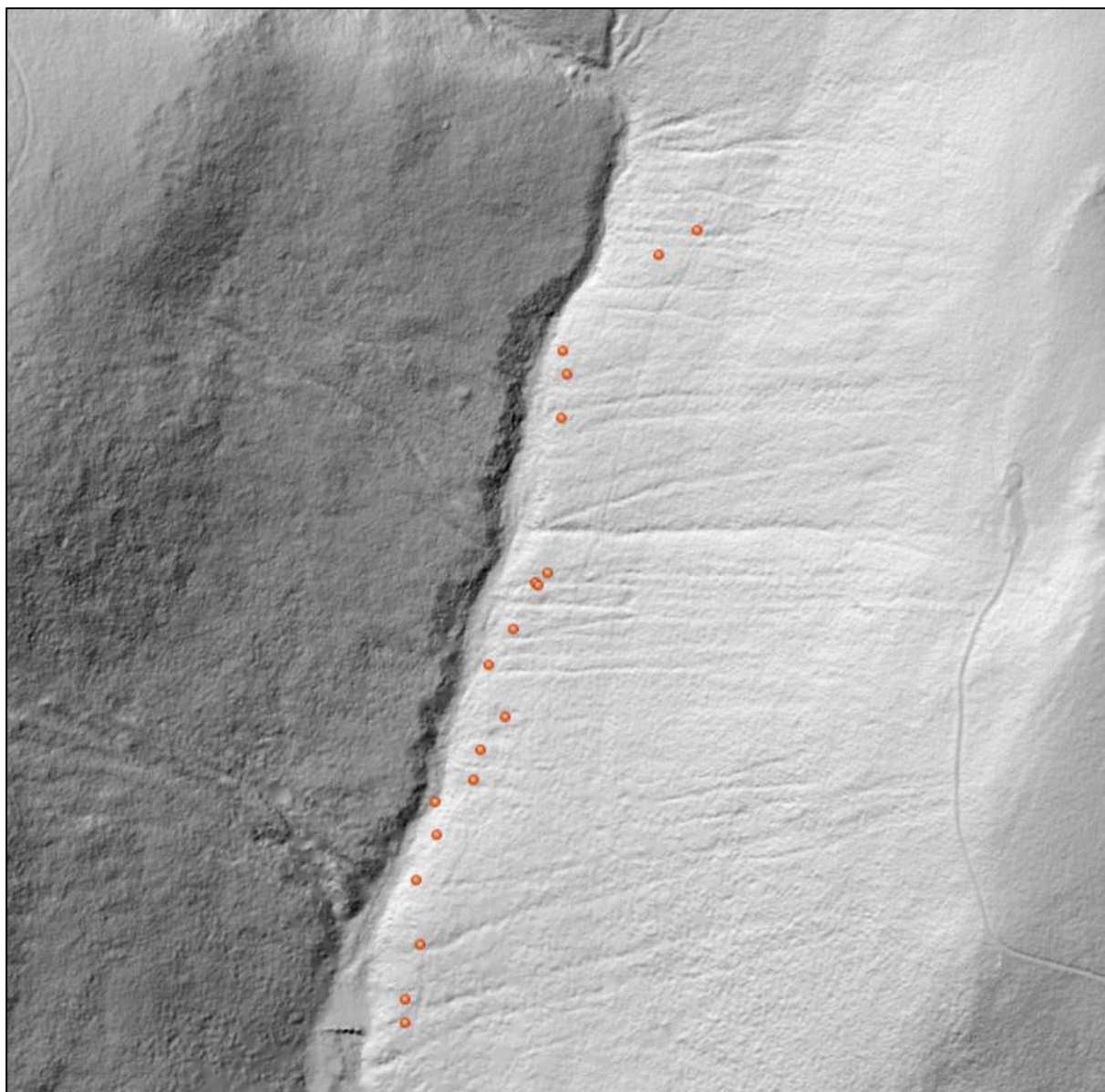
Zdroj: naměřená data, vlastní zpracování

V terénu jsem lokalizoval celkem 15 strží (Tab. 9). Jejich šířky nabývají rozměrů od 3,4 m do 11,1 m (v průměru 6,73 m) a jejich hloubka je od 0,65 m do 3,80 m (průměrná hloubka je 1,54 m). Pokud porovnáme trend, tak mají širší strže zpravidla i větší hloubku. Výjimkou je strž v pořadí číslo 13, jejíž šíře je v pořadí 4. nejširší, ale hloubka v pořadí 3. nejmenší.

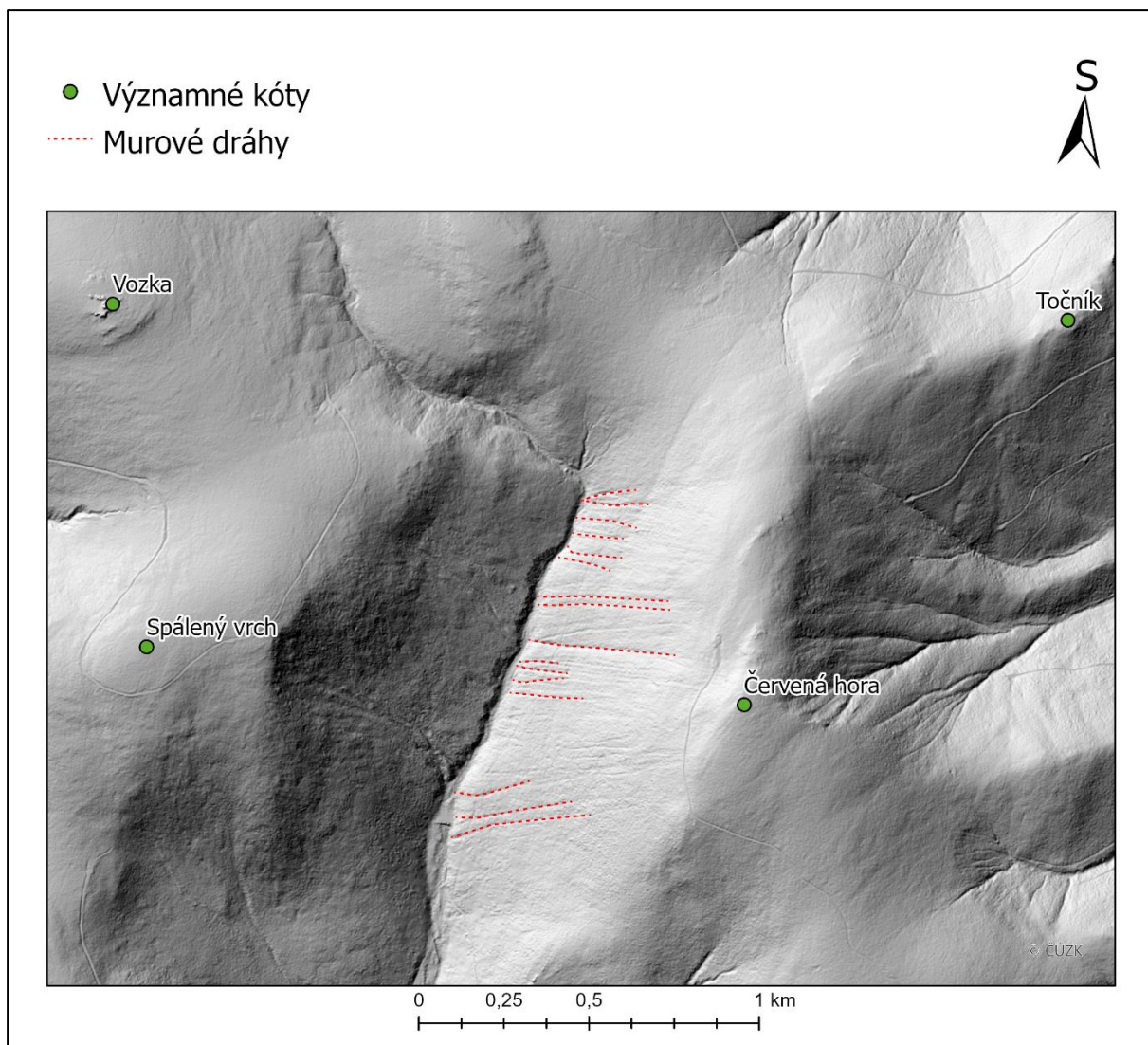
Od murových sesuvů na západních svazích Červené hory uplynulo více než 100 let. Rozsáhlé sanace svahů byly velmi efektivní a na dnešních leteckých snímcích již nejsou

rozpoznatelné reliktů mur. Relikty můžeme najít při pozorném zkoumání v mapě Digitálního modelu reliéfu 5. generace (DMR5G). Počet nalezených strží značně převyšuje počet murových drah dle Sokola (1965) i podle Dittmarové (2021). Je to z toho důvodu, že některé murové svahy byly natolik široké, že se zde vytvořilo více strží. Naopak je možné, že některé strže již nejsou v terénu dohledatelné, a to z důvodu akumulací půdy a suťového materiálu, které během let přikryla lesní hrabanka.

Při podrobné analýze souřadnic naměřených bodů jsem však narazil na chybu. Deklarovaná odchylka měření do ± 4 metrů v aplikaci Field Maps nebyla správná. Porovnával jsem naměřená data s DMR5G a některé body jsou od viditelných murových drah vychýleny i o 30 metrů. Hledal jsem příčinu tohoto problému a zjistil jsem, že aplikace může používat nepřesné matematické vzorce pro výpočet GPS souřadnic. Je pochopitelné, že GPS modul v mobilním telefonu nedokáže ani na volném prostranství zaměřit bod s přesností na centimetry, ale dle počtu viditelných družic by měla korektně určovat chybu v měření. Chyba může být jak na straně vývojářů aplikace, tak i v operačním systému a typu telefonu. Tento problém jsem nahlásil na technickou podporu vývojářů aplikace Field Maps. Do data publikace této diplomové práce jsem prozatím nedostal odpovědi. Použití těchto dat v mém výzkumu naštěstí neovlivňuje nijak závažně vizualizaci strží.



Obr. 13 Vzhled interaktivní mapy a jednotlivých zaměřených bodů vytvořené v prostředí ArcGis Online
Zdroj: DMR5G, ČÚZK 2023; vlastní zpracování

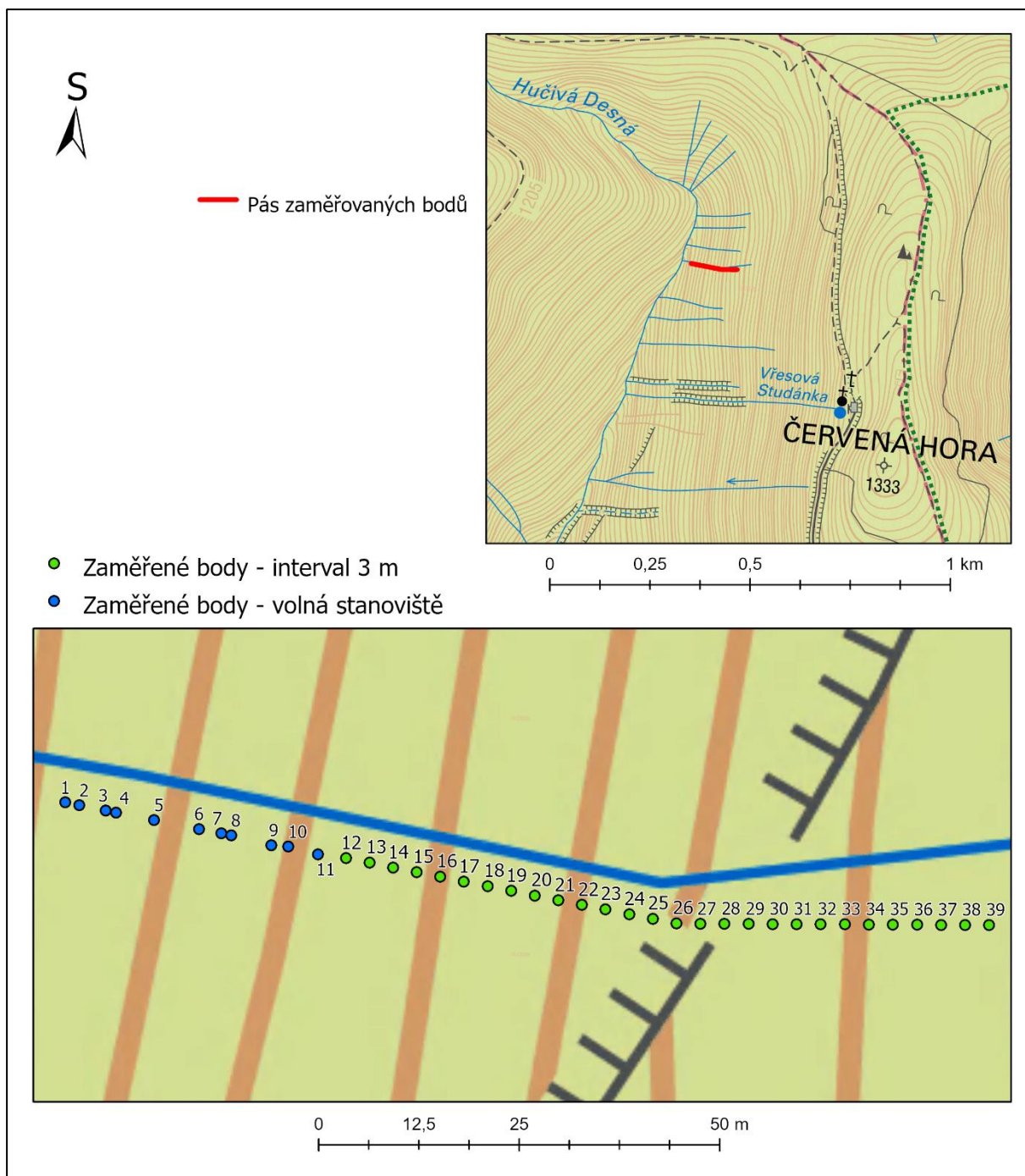


Obr. 14 Mury na západním svahu Červené hory zakresleny pomocí DMR5G
Zdroj: DMR5G, ČÚZK 2023; vlastní zpracování

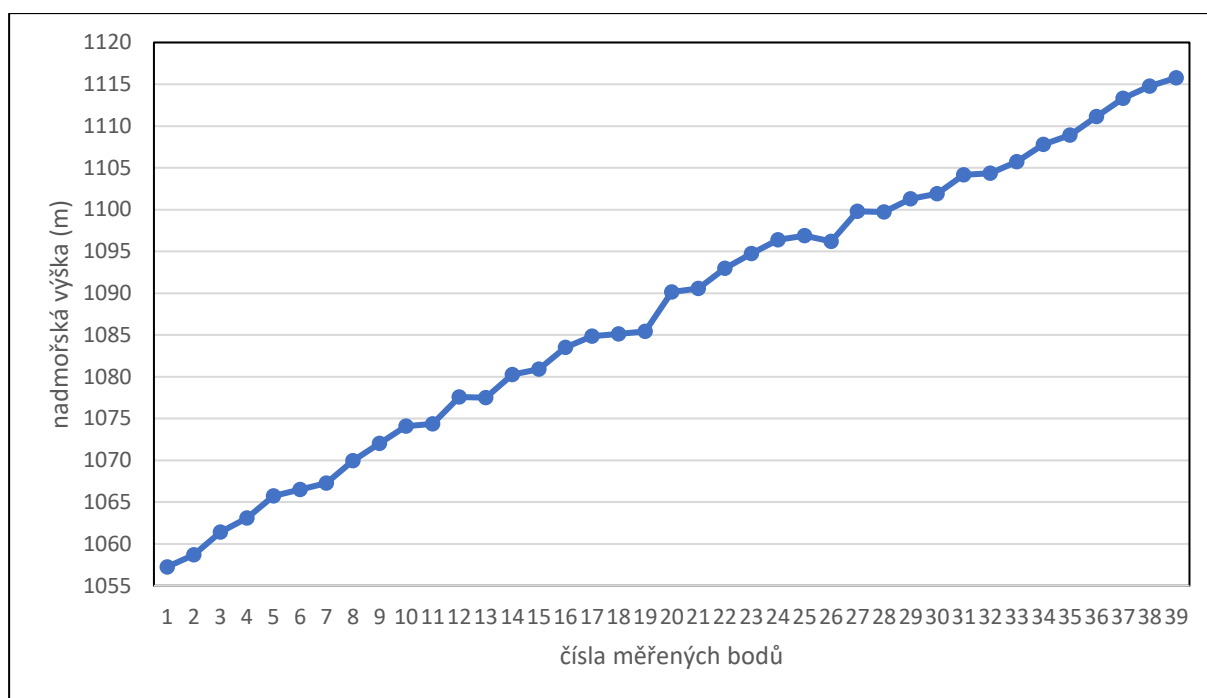
Po vzoru Mackovčina (2020) jsem využil stejné metodiky lokalizace murových drah pomocí DMR5G (Obr. 14). Lokalizoval jsem celkem 16 murových drah na západním svahu Červené hory. Tento počet se shoduje s tím, co Mackovčín (2020) uvádí.

9.3 Terénní výzkum 10. září 2022

Při tomto terénním výzkumu jsem se zaměřil přímo na jednu vybranou strž. Poučil jsem se z problémů s GPS z předešlého terénního výzkumu a podařilo se mi pro účely precizního zaměření zapůjčit jedno se současně nejmodernějších profesionálních GNSS (z anglického Global Navigation Satellite System, v českém překladu Globální družicový polohový systém) zařízení na trhu – Leica GS18 (viz. Příloha 14). Tento GNSS přístroj dokáže po zpřesnění zaměřit souřadnice s přesností 1 milimetr a s odchylkou měření v řádech jednotek centimetru, a to i v lesním porostu. Oproti mobilnímu zaměřování, kde deklarovaná odchylka byla v řádech jednotek metrů (reálná až v desítkách metrů) jsem se s přesností dostal na velice reprezentativní hodnoty. Lokalita a pás zaměřovaných bodů jsou znázorněny na Obr. 15. Usoudil jsem, že pro potřeby měření je vhodný levý břeh strže, jelikož se zde v téměř celé délce nenacházely stromy v zákrytu, a tak bylo možné vytvořit přímou měřickou síť s pravidelnými intervaly. Jak je možné vidět z Obr. 15, body číslo 1 až 11 jsou zaměřeny ve volných stanovištích v přibližném zákrytu ostatních bodů. Je to z toho důvodu, že nebylo možné zde vytyčit linii se stanovišti o pravidelném intervalu kvůli husté vegetaci bylinného a keřového patra. Body číslo 12 až 39 jsou umístěny v pravidelném intervalu 3 metry. Vytyčování měřických bodů proběhlo pomocí pásma. V pravidelném intervalu 3 metry byly do půdy zatlučeny betonářské kovové tyče (roxor) s délkou přibližně 0,5 m. Kovové tyče zde byly ponechány z důvodu případných dalších zaměřování a pozorování pohybu svahu v čase.



Obr. 15 Čísla měřených bodů vybrané strže a jejich umístění
Zdroj: ZM10, ZM100, ČÚŽK 2023; vlastní zpracování



Obr. 16 Výškový profil břehu vybrané strže v severovýchodní části Červené hory
Zdroj: vlastní zpracování

Nejnižše položený měřený bod je bod č. 1 a nachází se ve výšce 1057,26 m n. m. Nejvýše položeným bodem je bod č. 39 a nachází se ve výšce 1115,77 m n. m. Vzdušná vzdálenost mezi bodem č. 1 a č. 39 je 130,52 m a střední sklon svahu je 27 stupňů. Celkové překonané převýšení je 58,51 m. Z výškového profilu na obr. 16 můžeme pozorovat, že se zde mezi jednotlivými body nacházejí významnější výškové rozdíly. Mezi bodem č. 13 a 14 je výškový rozdíl 2,76 m, mezi body 19 a 20 výškový rozdíl nabývá největších hodnot ze všech bodů, a to 4,70 m a mezi body 26 a 27 je výškový rozdíl 3,58 m.

Původní téměř hladký průběh linie svahu, kopírující sklonitost západního svahu Červené hory, v ose murové rýhy, procházel dalším vývojem. Pohybem murové akumulace do řečiště Hučivé Desné docházelo k odnosu sedimentů až na skalní podloží. Tyto pomalé svahové pohyby jsou patrné z obr. 16, např. body 10-13, 20-22, 26-28. Naměřené posuny vytvářejí v profilu svahu drobné horizontální plošky a příkré plošky v závislosti na tloušťce zvětralinového pláště a vegetace.

Při terénním výzkumu dne 10. září se mi nepodařilo pořídit fotodokumentaci. K závěru měření, kdy jsem chtěl pořídit fotografie, se strhl prudký déšť a pokládal jsem za důležité opustit oblast výzkumu a odnést zapůjčený GNSS přístroj mimo riziko poškození vodou.

10 Zaměření svahové nestability v povodí Branné

Pro účely případného doplnění svahových nestabilit do Registru svahových deformací České geologické služby jsem potřeboval udělat analýzu v oblasti Hrubého Jeseníku. V první fázi jsem prohlížel aktuální evidenci svahových nestabilit v oblasti Hrubého Jeseníku (ČGS 2023). Při analýze Digitálního modelu terénu 5. generace (DMR 5G) jsem vyhledával anomálie v terénu, které opticky vypadaly jako sesuv a porovnával je s mapou registru svahových nestabilit ČGS. Následně jsem na základě analýzy provedl terénní průzkum. V povodí Branné, jsem poblíž přítoku Hučava (místo se nachází přibližně 2 km od soutoku Hučavy a Branné) narazil na svahovou nestabilitu (viz. Obr. 17).

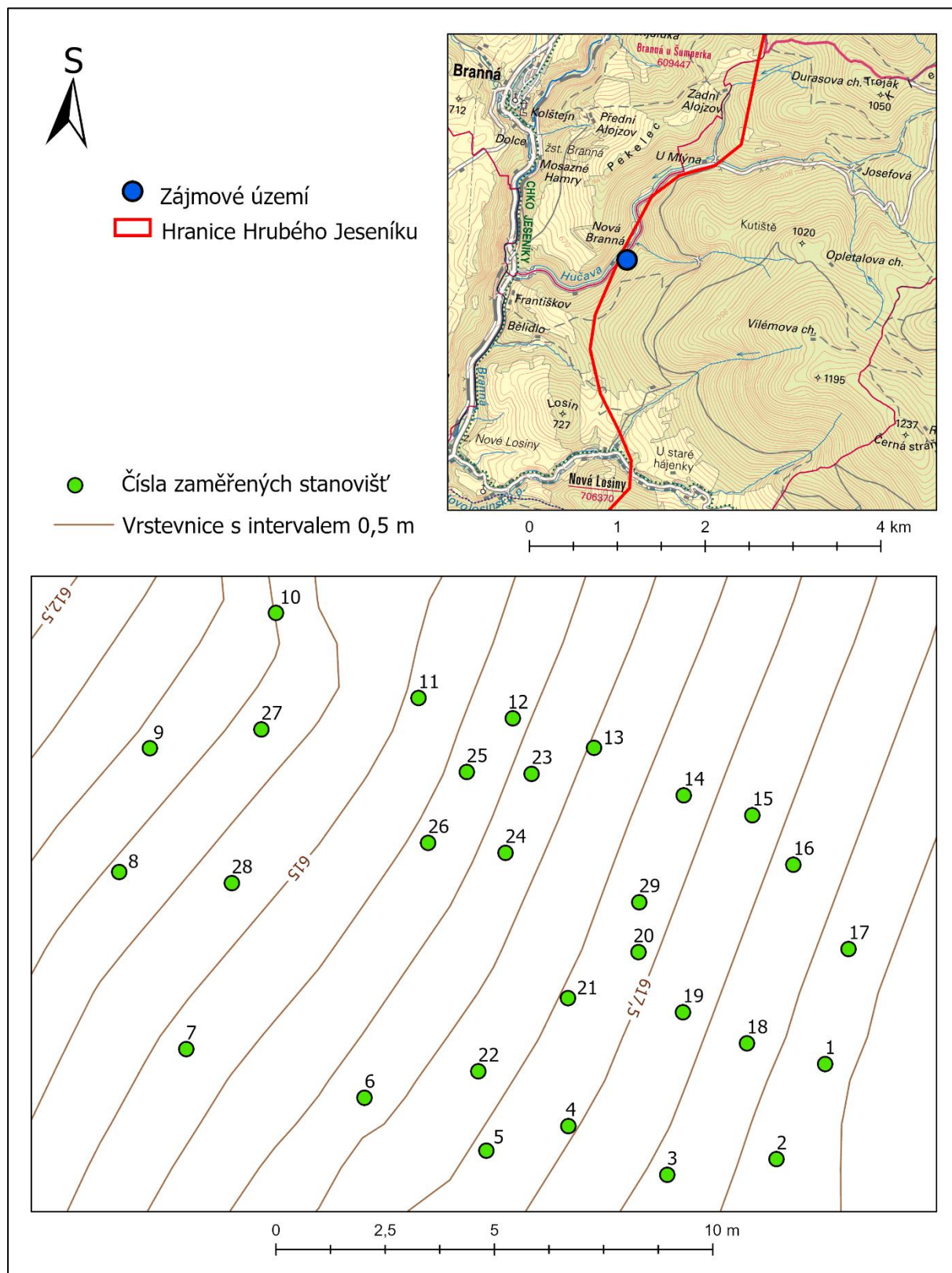
10.1 Identifikace svahové nestability



Obr. 17 Nalezená svahová nestabilita – skalní řícení
Zdroj: Němec 2022

Jedná se o typ skalního řícení. Lokalita řícení se nachází u mrazového srubu. Posun svahu byl způsoben zasakováním v příkopu lesní cesty umístěné nad sesuvem. Je zde patrná odlučná plocha, takže se nejedná o proudový, ale plošný sesuv.

10.2 Zaměření svahové nestability



Obr. 18 Zájmová oblast svahové nestability skalní řícení a čísla přidělená měřeným bodům
Zdroj: ZM50, DMR 5G, ČÚZK 2023; vlastní zpracování

10.2.1 Metodika zaměřování

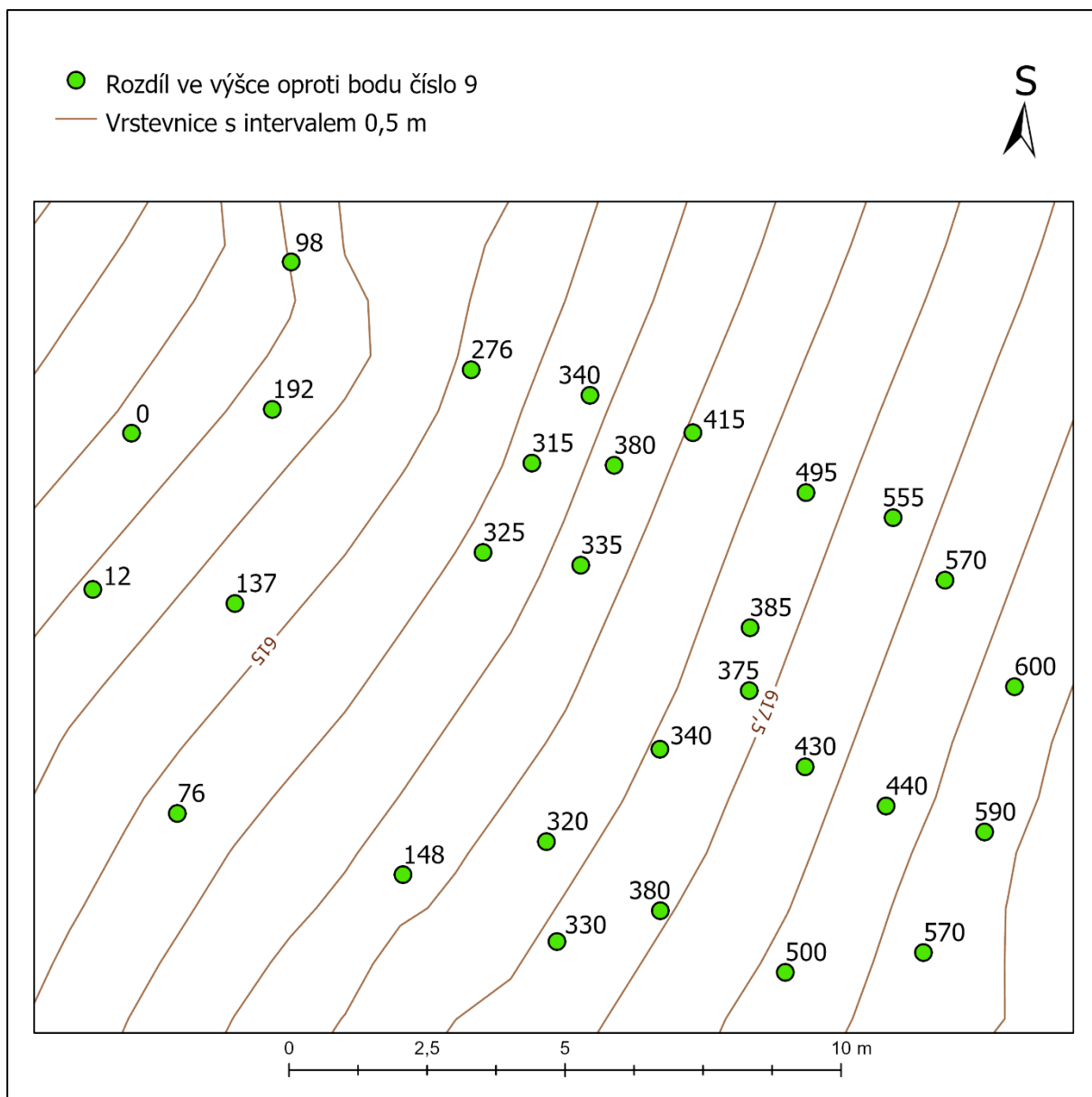
Při zaměřování tohoto skalního řícení jsem využil možnosti měření pomocí laserového měřiče a nivelační latě s libelou. V terénu jsem vytyčil hrany a paty sesuvu pomocí dřevěných kolíků (viz. Obr. 20) a přidělil jim čísla (Obr. 18). Na papíře jsem si vytvořil náčrt polohy jednotlivých bodů. Zaměřování jednotlivých bodů probíhalo od nejvýše položeného bodu (bod 17). Byl kladen důraz na to, aby u nivelační latě s libelou byla zajištěna kolmost a u laserového měřiče vodorovnost, čímž se vyloučilo zkreslení měření. Byla zaměřena jak výšková, tak vodorovná vzdálenost mezi body. Každý bod měl tyto vzdálenosti zaměřené na minimálně další dva body (ve většině případů 3 i více). Tímto způsobem byla zajištěna potřebná data pro vytvoření trigonometrické sítě pro další zpracování. Pro zajištění možnosti zanesení těchto vytyčených bodů do souřadnicového systému S-JTSK, byly 3 okrajové měřené body změřeny pomocí GNSS přístroje Leica GS18.

10.3 Zpracování dat

Data z měření jsem přepočítal za účelem vytvoření trigonometrické sítě. Tuto síť jsem narýsoval na papíře v měřítku 1:100. Určil jsem nejnížší bod měřené (bod č. 9) a určil mu výšku 0. Od tohoto bodu jsem určoval výšky ostatních bodů. Přesné polohy bodů jsem následně zanesl do prostředí GIS a s pomocí nástroje georeferencování a tří zaměřených bodů GNSS přístrojem, jsem body zanesl do souřadnicového systému S-JTSK. Tento krok mi výrazně pomohl k přesné lokalizaci sesuvu a jeho následné vizualizaci.

10.4 Výsledky měření

Popisované skalní řícení nabývá plošně menších rozměrů. Rozloha činí 46,21 m². Rozdíl nejníže a nejvýše položeného vytyčeného bodu je 6 m. Velmi výrazná je skalní stěna, která vystupuje z reliéfu na severu, nabývá nejvyšších hodnot na východě a zařezává se do terénu na jihu.



Obr. 19 Výškové rozdíly oproti nejnižše položenému bodu číslo 9
Zdroj: DMR 5G, ČÚZK 2023; Němec 2023, vlastní zpracování

Na Obr. 19 jsem vizualizoval výškové rozdíly měřených bodů vzhledem k nejnižše položenému bodu číslo 9. K porovnání jsem jako podkladovou vrstvu zvolil vrstevnice s intervalem 0,5 m, které jsem vytvořil z rastrové vrstvy DMR 5G, který měl pixely o velikosti 1 m. Můžeme zde vidět, že sesuvy takto malého měřítka je velmi obtížné identifikovat a přesně zakreslit z této podkladové vrstvy.

V oblasti sesuvu jsem dále identifikoval velký balvan, který byl odlomen ze skalní stěny v důsledku mrazového zvětrávání. Jeho roky jsem označil kolíky a zaměřil jej jako body 23, 24, 25 a 26. Balvan nabývá rozměrů $2,85 \times 2,04$ (délky nejdelších os). Bylo obtížné určit jeho výšku. Důsledku zařezávání balvanu do reliéfu a opadání listů a jehličí se zde vytvořila vysoká

vrstva lesní hrabanky. Balvan je v bodě 23 v rovině s reliéfem, v bodě 24 vystupuje o 23 cm nad reliéf, v bodě 25 vystupuje o 36 cm nad reliéf a v bodě 26 vystupuje 20 cm nad reliéf. Východní hrana balvanu se nachází 8,2 m od skalní stěny. Nachází se zde větší množství rozměrově méně významných balvanů a kamenné suti. Velká část oblasti je pokryta lesní hrabankou s velmi řídkým bylinným vegetačním patrem.



Obr. 20 Vytyčené hrany a přidělené body svahové nestability
Zdroj: Němec 2023

10.5 Návrh na zařazení do registru sesuvů ČGS

Tento sesuv není plošně rozsáhlý. Jen stěží je ho možné identifikovat a prakticky nemožné následně zakreslit pomocí DMR 5G. Podobných sesuvů je v oblasti Hrubého Jeseníku mnoho a jejich registrování podléhá náročnému terénnímu výzkumu. Jako jeden ze svých výstupů diplomové práce bych chtěl tento sesuv navrhnout k zařazení do Registru sesuvů České geologické služby. Jedná se o dočasně uklidněný sesuv (parametry viz. Tab. 10). Vlivem budoucího mrazového zvětrávání se může stát, že vznikne další řícení skalní stěny.

Tab. 10 Parametry skalního řízení

Typ	Řízení
List ZM10	14-24-11
Aktivita	dočasně uklidněné
Skupina	Svahové nestability přírodního původu
Podskupina	Odsedávání a řízení
Kraj	Olomoucký
Okres	Šumperk
Obec	Jindřichov
Katastr	Františkov
Plocha v m ²	46,21

Zdroj: Němec 2022, vlastní zpracování

11 Problematika a návrh metodiky zaměřování pomalých sesuvů

Při zaměřování pomalého sesuvu balvanů na Břidličné hoře mi přišlo, že výsledky měření v jednotlivých letech může ovlivňovat několik faktorů. Materiál geodetických hřebů umístěných v kovových trubkách s dřevěnou výplní nemůže být rozhodně stabilní v čase, jelikož i změna vlhkosti může způsobit změnu dřevěné výplně, a tak vychýlit geodetický hřeb v jednotkách milimetrů. Dalším faktorem je i zmíněná koroze geodetických hřebů a změna jejich tvaru oproti původnímu stavu. Při zaměřování pomalého sesuvu s deklarovanou přesností v řádu desetiny milimetru nám tyto faktory mohou výrazně ovlivnit měření. V neposlední řadě je zde i riziko lidského faktoru a může vzniknout chyba při zaměřování. Další problém, který při tomto měření nemůžeme s jistotou říct, je důvod výškových posunů balvanů směrem nahoru. Předpokládáme, že tyto posuny vznikly v důsledku otáčení balvanů při jarním tání sněhu. Prakticky tedy vnímáme posun geodetického hřebu umístěného v balvanu, který monitorujeme, nikoliv konkrétní změny v poloze balvanu. Nedá se tedy určit reálný vliv tajícího sněhu na kamenné moře. Dalším faktorem je monitoring pouhého zlomku z celkového počtu balvanů v kamenném moři. Vybrané monitorované balvany navíc nemají rovnoměrné rozložení na svahu a v důsledku toho se může stát, že se na svahu nachází menší místní lokalita, která je méně stabilní a má v čase výrazné posuny. Pro tyto potřeby by se mohlo zdát, že by se daly analyzovat letecké snímky. Problémem u této analýzy je ale to, že balvany nenabývají tak velkých rozměrů, aby je bylo možné analyzovat na leteckých snímcích.

11.1 Vlastní návrh metodiky

Rozhodl jsem se proto navrhnout vlastní metodiku zaměřování na základě vlastních zkušeností s laserovým scannerem Leica RTC360 3D. Jako výstup pozemního laserového snímkování vzniká trojrozměrné bodové mračno celého nasnímaného povrchu a panoramatické fotografie. Tato naměřená data lze následně v počítačových programech zpracovávat a analyzovat. Pokud by se tato data pořizovala pravidelně, bylo by možné analyzovat pohyby nejen všech balvanů, ale například i suti a jemného půdního materiálu, změny v pokryvu vegetace nebo vliv tání sněhu na rotaci balvanů.

Metodiku budu uvádět konkrétně na příkladu měření kamenného moře na Břidličné hoře, jelikož jsem velmi dobře obeznámen s místními podmínkami. Současná data byla měřena pouze v místním souřadnicovém systému a přijde mi vhodné, aby se tyto data zanesla i do souřadnicového systému S-JTSK. Umožní to provádět další analýzy pomocí mapových podkladů a jednodušší vizualizaci dat.

Pro potřeby laserového scanování je potřeba nachystat bodové pole. Toto bodové pole se skládá z pevně umístěných bodů, které jsou v čase a prostoru neměnné. Může se jednat například o obnaženou skálu, nebo lze tyto body vytvořit pomocí dostatečně dlouhých kovových tyčí vyrobených z materiálu, který ideálně nepodléhá korozi. V případě Břidličné hory, tak zde se obdobné kovové tyče již nachází. Historicky sloužily také pro vytvoření bodového pole, kvůli kterému bylo možno sledovat polohové pohyby označených kamenných balvanů. Jsou neměnné v poloze a v čase, tudíž je možné je pro toto měření použít s menšími úpravami. Tyto tyče je potřeba osadit závitem, aby bylo možné na ně umístit odrazový terč (tak jak je možno vidět na stativu na **Obr.**). Poloha těchto terčů se zaměří totální stanicí, která bude zaměřovat do souřadnicového systému S-JTSK. Totální stanici umístíme na svahu do místa, ze kterého budou viditelné všechny odrazové terče. Tohle místo označíme jako stanoviště a pro získání polohy v souřadnicovém systému sestrojíme 6-8 orientačních bodů. Orientační bod se musí nacházet ve vzdálenosti větší, než jsou tyče s odrazovými terči, aby nevznikla chyba při měření. Orientační body zaměříme nejprve pomocí GNSS (globální družicový polohový systém) přístroje a tím získáme jejich polohu v souřadnicovém systému S-JTSK. Následně tyto hodnoty zadáme do totální stanice a jednotlivé orientační body zaměříme totální stanicí s pomocí odrazového hranolu. Tímto získáme úhlové délky a zkalibrujeme totální stanici. V této fázi můžeme totální stanicí zaměřit odrazové terče a získáme přesnou 3D polohu odrazových terčů v souřadnicovém systému S-JTSK. Přesné zaměření polohy odrazových terčů je nutné pouze v případě prvního měření touto metodou. Případné opakování tohoto kroku hrozí pouze v případě poškození kovových tyčí vandaly.

V další fázi nás čeká samotné zaměření bodového mračka laserovým scannerem. Laserový scanner Leica RTC360 3D bude bodová mračna snímat po stanovištích tak, aby překryv jednotlivých bodových mračen byl ideálně alespoň 55 %. Je to z toho důvodu, aby každé bodové mračno bylo překryto v ideálně celé ploše sousedními bodovými mračky. Tento stativ není nutné při každé změně stanoviště kalibrovat libelou do absolutní roviny. I na svahu stačí pomocí nastavitelného stativu umístit scanner do přibližné roviny. V scanneru je totiž elektronická libela, která dokáže spočítat sklon a brát ho v úvahu při měření bodového mračka. Ideální místo pro počátek zaměřování je oblast balvanu s bodem číslo 46 (viz Obr. 7) a dále pokračovat po vrstevnicích na jih až ke konci kamenného moře, zde se posuneme 10-15 metrů po spádnicí směrem na západ a pokračujeme s laserovým scannerem a měříme po stanovištích směrem na sever. Takto po jednotlivých stanovištích nasnímáme laserovým scannerem celé kamenné moře. Leica RTC360 3D dokáže spojovat bodová mračna již během měření. Při

přesunu laserového scanneru můžeme vidět i jeho pohyb v bodovém mračnu na tabletu, který je připojen ke scanneru. Nemělo by se stát, že scanner umístíme na stanoviště, které je příliš vzdálené od konce bodového mračna naskenované na předcházejícím stanovišti.



Obr. 21 Odrazový terč na stativu (vlevo) a laserový scanner Leica RTS360 3D na stativu (vpravo)
Zdroj: Němec 2023

Dle mého odhadu bude možno zaměřit celé kamenné moře laserovým scannerem s použitím přibližně 80 stanovišť. Každé stanoviště se zaměří s nejhustší intenzitou bodů a samozřejmě je i pořízení panoramatické fotky. Ta bude použita nejen k obarvení bodového mračna, ale i k následným vizuálním porovnáváním mezi měřeními v jednotlivých letech. Délka zaměřování jednoho stanoviště závisí na nastavených parametrech. Vzhledem k výše uvedeným parametrům by doba trvání zaměření jednoho stanoviště byla necelé 3 minuty (přesný čas dle výše uvedených nastavení 2 minuty a 42 vteřin viz. Příloha 15) a pokud by se nepořizovaly panoramatické fotky, tak by byla doba zaměřování jednoho stanoviště přibližně poloviční. Celkovou dobu potřebnou k zaměření kamenného moře odhaduji na 5-6 hodin, což je doba srovnatelná se zaměřováním původním způsobem.

Následné zpracování naměřených dat v terénu laserovým scannerem Leica RTC360 3D probíhá v software Leica Cyclone REGISTER 360 PLUS. Zde se zkontrolují překryvy a napojení jednotlivých mračen a je možné provést případné posuny. Abychom dostali jednotlivé body z bodového mračna do souřadnicového systému S-JTSK, potřebujeme lokalizovat odrazové terče v bodovém mračnu a přidělit jim hodnoty, které jsme naměřili totální stanicí. Program následně sám přepočítá místní souřadnicový systém každého bodu z bodového mračna a přidělí mu přesnou hodnotu v souřadnicovém systému S-JTSK. V této fázi máme již kompletně zmonitorované celé kamenné moře a data máme připravená k vytváření výstupů, jako je např. 3D model kamenného moře a po opakování měření v následujících letech i meziroční srovnávání.

Mezi výhody této metody patří právě vysoká přesnost. Vzdálenosti mezi jednotlivými body jsou méně než milimetrová. Další obrovskou výhodou je, že naměřená data se dají využívat i pro další účely (nejen monitoring pomalých sesuvů). Jde pozorovat např. meziroční vývoj typů a rozšíření rostlin a následně zkoumat jejich vliv na stabilitu svahu. Z panoramatických fotek lze poznat i druhy mechů a lišejníků a následně analyzovat jejich rozšíření, či pohyby. Pokud bychom chtěli zachovat i bodové značky umístěné v balvanech a zároveň použít metodu pozemního laserového scannování (z toho důvodu, aby nově naměřená data byla stále porovnatelná s měřenými daty od roku 1972), tak lze tyto balvany trvale osadit adaptérem na odrazový štítek, který plní podobnou funkci jako odrazový terč. Při laserovém měření, by se měřené balvany osadily štítky a při následném zpracování dat bychom získali hodnoty porovnatelné s historickým měřením. Je téměř nemožné, aby se zde vyskytla chyba v měření v důsledku lidského faktoru. Data je možno kontrolovat již během měření na zmiňovaném propojeném tabletu (prakticky je bodové mračno možné zkontrolovat během

3 minut, kdy se nám nasníma následující stanoviště bodového mračna), případné mírné posuny lze následně upravovat ve fázi zpracovávání.

Nevýhody má také tato metoda, ale ne v oblasti přesnosti. Pokud bychom chtěli pořídit technická zařízení a počítačový software pro tuto metodu, tak bychom museli provést investice v řádech jednotek miliónu Kč. Tento problém lze však vyřešit krátkodobým zapůjčením zařízení, případně zadáním zakázky externí firmě, která by měření provedla. Další nevýhodou je to, že naměřená data zaujímají poměrně velkou velikost na disku. V závislosti na hustotě bodového mračna by velikost dat mohla být okolo 100 GB, což by při dnešních technických možnostech neměl být problém ani užívat, ani následně uchovávat.

Pozemní laserové scannování lze teoreticky využít na kterýkoliv monitoring svahových nestabilit. Lze ho použít např. i v lese. Stromy je možné při následném zpracovávání dat odstranit z bodového mračna a vyexportovat vrstvu očištěnou od nežádoucích bodů. Je jen potřeba pozměnit metodiku v závislosti konkrétních potřebách.

12 Diskuse

V úvodu této diplomové práce se mi podařilo shrnout základní informace k fyzickogeografické charakteristice Hrubého Jeseníku. Tyto informace následně pomohly k pochopení složitých procesů probíhajících na tomto území. Pro pochopení pojmů používaných v této diplomové práci jsem je následně pomocí odborné literatury definoval, rozdělil podle klasifikací a přiblížil jejich rozšíření na území České republiky. Nedílnou součástí byla také rešerše historických studií a článků pojednávající o problematice svahových nestabilit Hrubého Jeseníku. Tyto informace byly pro mou práci klíčové, jelikož se v nich popisují dobové stavy krajiny před vznikem svahových sesuvů a také jsou zde detailně popsány samotné průběhy svahových sesuvů. Zjistil jsem také průběhy sanačních opatření, které ovlivnily to, jak vypadá krajina dnes.

V případě výzkumu svahové nestability pomalého sesuvu se mi podařilo získat historická data z jednotlivých let dlouhodobého monitoringu pohybu balvanů. Po podrobném prostudování metodiky používané se starými přístroji jsem provedl navzdory nepříznivému počasí a špatné pohyblivosti v této oblasti vlastní zaměření pohybu balvanů na Břidličné hoře. Při tomto měření jsem používal profesionální měřicí totální stanici a kvůli zachování stejně vysoké přesnosti jako v dřívějších letech jsem potřeboval asistenci profesionálního geodeta, který dohlížel na to, aby bylo zaměření geodetických hřebů v balvanech provedeno správně a přesně. Následné zpracování naměřených dat potvrdilo pomalé pohyby sledovaných balvanů na monitorované ploše. Pět balvanů nabývalo extrémních hodnot vertikálních posunů a kvůli tomu jsem vytvářel dvojí typ výpočtů v analýzách, aby nedocházelo k případnému zkreslení zaměřených dat. Popsal jsem i různé trendy pohybů balvanů. Současně jsem zjistil výrazné vertikální pohyby nahoru u několika balvanů z měření v roce 1984 oproti předchozímu měření v roce 1979 (viz Obr. 8). Odůvodněním může být rotace balvanů v důsledku tajícího sněhu a ledu. V úvahu připadá i chyba v měření v roce 1984 nebo antropogenní vliv v důsledku pohybu turistů. Tato tvrzení jsou však jen domněnky, které nemám ničím potvrzené. Z celkového počtu 57 označených balvanů v roce 1972 jsem však našel pouze 50. Jako příčina nenalezení 7 označených balvanů může být otočení balvanů v důsledku pohybu tajícího ledu a sněhu v jarních měsících, nebo pokryv balvanů mechy, lišejníky a další vegetací. V případě, že byly balvany otočeny v důsledku tání ledu a sněhu, tak je velká škoda, že je nebylo možné zaměřit. Data vycházející z tohoto jevu by mohla být velice zajímavá a mohla by přesně popisovat vlivy sněhu a ledu na pohyby kamenného moře. Touto problematikou jsem se dále zabýval a navrhl jsem metodiku dlouhodobého monitoringu pomalých sesuvů laserovým

scannerem. Tato metoda řeší všechny problémy vyplývající z původního zaměřování geodetických hřebů umístěných ve vybraných 57 balvanech. Kromě toho, výhodou této metody je sledování všech balvanů v kamenné moři (nejen vybraných 57), ale také sledování typů a pohybů vegetačního pokryvu na Břidličné hoře.

Další část terénního výzkumu proběhla během dvou dní na západním svahu Červené hory. V důsledku murových sesuvů byl tento svah částečně přeměněn. V první fázi jsem lokalizoval strže jakožto relikty murových sesuvů v terénu. Zaměřil jsem rozměry jednotlivých strží a pomocí GPS modulu v mobilním telefonu a Aplikace Field Maps od ESRI jsem zaměřil polohu v jejich nejmocnější části (nejnižší polohy svahů). Dle aplikace byla deklarovaná odchylka v měření bodů ± 4 metry. V aplikaci jsem pořídil jejich fotografii. Data jsou dostupná přes odkaz ve webové aplikaci ArcGis Online. Při podrobnější kontrole naměřených bodů s podkladovou rastrovou vrstvou Digitálního modelu reliéfu 5. generace jsem zjistil, že deklarovaná odchylka neodpovídá a některé naměřené body strží jsou od viditelných strží v DMR 5G odchýleny i o 30 m. Tento problém jsem nahlásil vývojářům aplikace. Při dalším používání této aplikace by bylo vhodné použití 2 různých mobilních telefonů. Bylo by zajímavé porovnat, jaké hodnoty aplikace zaměří ve stejném místě a čase na rozdílných zařízeních. Nalezený počet strží převyšuje počet murových drah evidovaných podle Sokola (1965) i podle Dittmarové (2021). Je to z toho důvodu, že některé murové svahy byly natolik široké, že se zde vytvořilo více strží. Naopak je možné, že některé strže již nejsou v terénu dohledatelné, a to z důvodu akumulací půdy a suťového materiálu, které během let přikryla lesní hrabanka.

V druhé fázi výzkumu na západním svahu jsem se zaměřil na jednu vybranou strž, u které jsem chtěl co nejpresněji zaměřit a následně vizualizovat její průběh. Vyvaroval jsem se problémům, které vznikly v předchozí fázi měření a zapůjčil jsem si GNSS zařízení Leica GS18, které zaměřuje s přesností 1 mm. Vytvořil jsem zde podél strže 39 bodů. Prvních 11 bodů jsem zaměřil metodou volného stanoviště z důvodu špatné přístupnosti husté vegetace bylinného a keřového patra. Následujících 28 bodů bylo vymezeno v přesných intervalech 3 m. Body jsem zaměřil a následně vizualizoval v prostředí GIS. Z následných analýz vyplývá, že původní téměř hladký průběh linie svahu, kopírující sklonitost západního svahu Červené hory, v ose murové rýhy, procházel dalším vývojem. Pohybem murové akumulace do řečiště Hučivé Desné docházelo k odnosu sedimentu až na skalní podloží. Naměřené posuny vytvářejí v profilu svahu drobné horizontální plošky a příkré plošky v závislosti na tloušťce zvětralinového pláště a vegetace.

Pro potřeby doplnění Registru sesuvů České geologické služby jsem potřeboval najít nezdokumentovaný svahový sesuv. V první fázi jsem vyhledával anomálie v terénu, které jevíly známky sesuvu na Digitálním modelu terénu 5. generace a ty jsem následně porovnával, zda se tyto oblasti již nenachází v registru sesuvů České geologické služby. Následně jsem provedl terénní výzkum, kde jsem našel neevidovanou svahovou nestabilitu. Vytyčil jsem ji dřevěnými kolíky, kterým jsem přidělil čísla. Pomocí laserového měřiče a nivelační latě jsem zaměřil vzdálenosti jednotlivých bodů za účelem vytvoření trigonometrické sítě. Výškové vzdálenosti byly zaměřeny také. Body jsem následně vizualizoval v prostředí GIS v souřadnicovém systému S-JTSK. Tuto svahovou nestabilitu jsem definoval jako skalní řícení v blízkosti mrazového srubu. Posun svahu byl způsoben zasakováním v příkopu lesní cesty umístěné nad sesuvem. Kvůli patrné odlučné ploše se jedná o plošný sesuv. Dále jsem popsal parametry potřebné pro evidování v Registru svahových nestabilit v registru České geologické služby.

Tabulková data jsem zpracovával v programu Microsoft Excel a pro zpracovávání mapových podkladů a následnou vizualizaci jsem používal ArcGis Pro a QGIS3. Diplomová práce byla vytvořena v Microsoft Word.

13 Závěr

V této diplomové práci se mi v teoretické části podařilo definovat svahové nestability a popsat jejich rozšíření v rámci České republiky. Uvedl jsem i množství významných osobností, které se touto problematikou zabývali. Pomocí metody rešerše jsem dohledal v historických pramenech potřebné informace k popisu svahových nestabilit v oblasti Branné. V pramenech jsem také dohledal příčiny, projevy a důsledky murových sesuvů na západním svahu Červené hory. Také vlivy sanací ovlivnily vzhled a vývoj tohoto postiženého svahu. Důležitou částí bylo dohledání dat z historických etap měření pohybů balvanů v kamenném moři na Břidličné hoře. Tato data jsem použil pro vytvoření podkladů k následnému terénnímu výzkumu. Provedl jsem terénní výzkum a zaměřil geodetické hřeby umístěné v balvanech s nejvyšší možnou přesností. Data jsem následně vizualizoval v podobě obrázků a tabulek a samozřejmostí bylo i porovnání mnou naměřených hodnot s historickými daty. Porovnal jsem výhody a nevýhody metodiky používané k dlouhodobému monitoringu pomalých sesuvů a podařilo se mi vytvořit metodu, která tyto nevýhody eliminuje.

Kladl jsem důraz na využívání různých metod a přístrojů při terénních výzkumech. V případě evidence strží na západním svahu Červené hory jsem využil mobilní aplikace Field Maps, která mi dovolila k zaměřenému bodu evidovat i fotografii. Vznikla tak webová interaktivní mapa v prostředí ArcGis Online. U každé zaměřené strže je tedy možné zobrazit i její fotografii a v tabulce dohledat i její rozměry, které jsem měřil ručně pomocí laserového měřiče a pásma. Výsledná přesnost měření nebyla kvůli lesnímu porostu tak přesná, jako jsem očekával. Konečnou vizualizaci to však zásadně nezkreslilo. Pro zaměření průběhu jednoho vybraného sesuvu jsem využil možnosti zapůjčení profesionálního GNSS přístroje. V porovnání s předchozím mobilním mapování lze říct, že jsem pořídil precizní data. Data jsem následně zpracoval a interpretoval.

Kvůli případnému doplnění nezdokumentované svahové nestability do Registru svahových nestabilit České geologické společnosti jsem prohlížel mapový podklad Digitálního modelu reliéfu 5. generace. Hledal jsem zde viditelné svahové anomálie, které by mohly být sesuvem. Tyto lokality jsem pak fyzicky navštívil a vybral takovou, kde se nachází sesuv vhodný pro zaměření a následnou evidenci. Sesuv jsem vytyčil dřevěnými latěmi, které představovaly body a pomocí laserového měřiče a nivelační latě s libelou jsem zaměřil jak horizontální, tak vertikální vzdálenosti. Získal jsem tak data pro následné vytvoření trigonometrické sítě. Sesuv jsem vizualizoval, popsal a připravil jsem podkladová data potřebná pro evidování tohoto sesuvu v Registru svahových nestabilit České geologické služby.

14 Summary

In this thesis, I focused on slope instabilities in Hrubý Jeseník Mt. I searched historical sources for the necessary information to describe slope instabilities in the Branná area. In the sources, I also looked for the causes, manifestations and consequences of wall landslides on the western slope of the Červená hora Mt. The effects of rehabilitation have also affected the appearance and development of this affected slope. An important part was finding data from the historical stages of measuring boulder movements in the stone sea on Břidličná hora Mt. I used this data to create the basis for subsequent field research. I conducted field research and target geodetic pegs placed in boulders with the highest possible accuracy. I then visualized the data in the form of pictures and tables, and of course I also compared the measured values with historical data. I compared the advantages and disadvantages of the methodology used for long-term monitoring of slow landslides and managed to create a method that eliminates these disadvantages.

I emphasized the use of various methods and devices in field research. In the case of recording the torrents on the western slope of the Červená hora Mt., I used the mobile application Field Maps, which allowed me to record a photo of the focused point. This created a web interactive map in the ArcGis Online environment. It is therefore possible to display a photo of each focused torrent and find its dimensions in the table, which I measured manually using a laser meter and tape measure. The resulting measurement accuracy was not as accurate as I expected due to the forest cover. However, it did not fundamentally distort the resulting visualization. I focus to the progress of one selected landslide, I used the possibility of borrowing a professional GNSS device. In comparison to the previous mobile mapping, it can be said that I capture precise data. I then processed and interpreted the data.

In order to possibly add undocumented slope instability to the Register of slope instability of the Czech Geological Society, I looked at the DMR 5G map base. I was looking for visible slope anomalies here that could be a landslide. I then physically visited these localities and selected one where there is a landslide suitable for surveying and subsequent registration. I marked out the slide with wooden slats that represented the points and using a laser meter and a leveling bar with a spirit level I aimed both horizontal and vertical distances. I thus obtained data for the subsequent creation of a trigonometric network. I visualized the landslide, described it and prepared the background data needed for recording this landslide in the Register of Slope Instabilities of the Czech Geological Survey.

15 Seznam použitých zdrojů

15.1 Seznam citované literatury

AGENTURA OCHRANY PŘÍRODY A KRAJINY ČESKÉ REPUBLIKY. SPRÁVA CHRÁNĚNÉ KRAJINNÉ OBLASTI JESENÍKY (2012): Rozbory Chráněné krajinné oblasti Jeseníky. Praha: AOPK ČR. 268 s.

BECK, K. (1969): Technická dokumentace ke stržím v povodí Hučivé Desné. Státní lesy Krnov.

BISHOP, M.P., (2013): Remote sensing and GIScience in geomorphology: Introduction and overview. In: Shroder J. (Editor in Chief), Bishop M.P. (Ed.), Treatise on Geomorphology, vol. 3, Remote Sensing and GIScience in Geomorphology. Academic Press, San Diego: 1–24.

ČERMÁK, J. (1912): Sesutí stráně a hrazené jezero u Mladotic. Sbor. Č. spol. zeměpis. 18.

DEGEN, Z. a Z. STEHLÍK (1991): Jeseníky. 1. vyd. Praha: Olympia. Turistický průvodce ČSFR, sv. 39. 348 s. ISBN 80-7033-103-8.

DEMEK, J. et al. (1965): Geomorfologie českých zemí. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd. 335 s.

DEMEK, J., MACKOVČIN, P. et al. (2006): Zeměpisný lexikon ČR. Hory a Nížiny. 2. vyd. Brno: AOPK ČR. 582 s. ISBN 80-86064-99-9.

DEMEK, J., HAVLÍČEK, M., a MACKOVČIN, P. (2010): Quantitative monitoring of slope movements at the Břidličná hora Mt. (Hrubý Jeseník Mts., Czech Republic, EU). Acta Universitatis Carolinae Geographica. Praha: Karolinum, 2011, roč. 42, č. 2, s. 31-43, 11 s. ISSN 0300-5402.

DĚDINA, V. (1919): Sjíždění půdy na Valašsku a sjíždění půdy v Hošťálkové na Moravě. Sborník České spol. zeměpisné 212.

DITTMAROVÁ, P. (2021): Dopady přírodních kalamit na lesní porosty ve vybrané části Hrubého Jeseníku. Univerzita Palackého v Olomouci. Olomouc. 75 s. Bakalářská práce.

GÁBA, Z. (1992): Mury pod Keprníkem v červenci 1991. Severní Morava sv. 64, Šumperk, s. 43-49.

GÁBA, Z. (1993): Katastrofální mury a povodně v oblasti Hrubého Jeseníku. Životné prostredie, 27(2), Bratislava: Slovak Academic Press, s. 95-98.

- GÁBA, Z. (2009): Úzkorozchodné dráhy a drážky na šumperském okrese. Šumperk: Vlastivědné muzeum v Šumperku. Knihovnička severní Moravy. ISBN 978-80-85083-55-2.
- HARRIS, CH. et al. (2003): Warming permafrost in European mountains. *Global and Planetary Change* 39, pp. 15–225.
- HUMLUM, O. (1997): Active thermal regime at three rock glaciers in Greenland. *Permafrost and Periglacial Processes* 8, pp. 383–408
- KAČÍREK, J. (2017): Sesuv na D8. Příběh špatných rozhodnutí a krátká učebnice souvislostí. Praha Novela bohemika, 166s. ISBN 978 80 87 683774
- KASPRZAK, M., TRACZYK, A., (2011): Rzeźba i rozwój doliny Izery w Sudetach Zachodnich, *Opera Corcontica*, 48: 7–34
- KOLEKTIV (2019): Výroční zpráva České geologické služby 2018, Praha: ČGS. 129 s. ISBN 978-80-7075-958-5
- KOLLEROVÁ, M. a Vlastivědné muzeum v Šumperku (2020): Povodeň v údolí Desné roku 1921. XX. svatováclavské setkání v Jeseníku: Voda v Jeseníkách a na Jesenicku: sborník referátů. Jeseník: Vlastivědné muzeum Jesenicka, s. 62-70. ISBN: 978-80-87632-72-7.
- KIRCHNER, K., KREJČÍ, O., (1998): Charakteristika jevů způsobených extrémními srážkami v roce 1997 na Vsetínsku: návrhy řešení způsobených škod. *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku* v roce 1997, 5, s. 103-108.
- KREJČÍ, O., BÍL, M., JUROVÁ, Z., RYBÁŘ, J. (2002): Slope instability hazard evaluation in the Flysch Western Carpathians (Czech Republic). In -: *Instability, Planing and Management*, s. 305-312. – Thomas Telford Publishing. London. ISBN 0727731327
- KREJČÍ, O., BAROŇ, I., KAŠPERÁKOVÁ, D., KIRCHNER, K., KLIMEŠ, J., PETROVÁ, V., ŠIKULA, J. (2008): Vliv sesuvných kalamit v letech 1997 a 2006 na změny reliéfu flyšového pásma Západních Karpat, *Geomorfologické výskumy v Západných Karpatoch a okolitých územiach*. 5. vedecká konferencia a Valné shromaždenie Asociácie slovenských geomorfológov pri SAV. 7. - 9. 10. 2008. Bešeňová, Slovenská republika
- KREJČÍ, V., KAŠPERÁKOVÁ, D., KREJČÍ, O. (2019): Registr svahových nestabilit ČR - významné lokality ohrožené sesuvy. In Martin Knížek, Viktor Goliáš a Pavel Bokr: *Otevřený kongres České geologické společnosti a Slovenskej geologickej spoločnosti*. Sborník abstrakt. Beroun 2019, – Česká geologická společnost. ISBN 978-80-87487-24-2

KŘÍŽ, V., TOLASZ, R. (1990): Sněhová pokrývka hornatin a vrchovin Severomoravského kraje. Práce a studie Českého hydrometeorologického ústavu, 18, Praha, 46 pp.

KŘÍŽEK, M. (2007): Periglacial landforms above alpine timberline in the High Sudetes. In: *Geomorphological Variations*, Andrew S. Goudie and Jan Kalvoda (eds.), P3K, 1. vydání, Praha, pp. 313–337.

KŘÍŽEK, M. (2016): Periglacial Landforms of the Hrubý Jeseník Mountains. In: PÁNEK, T. a HRADECKÝ, J. (ed.) (2016): *Landscapes and Landforms of the Czech Republic*. Springer International Publishing, Cham, s. 277-289.

KŘÍŽEK M., KRAUSE D. a T. RASCHOVÁ (2018): Debris flows in the Hrubý Jeseník Mts., Bohemian Massif, Czech Republic. *Journal of maps*, 14(2), s. 428-434. DOI: 10.1080/17445647.2018.1486241.

KUTÁLEK, S. (2005): *Technická zpráva Pokusné plochy-sutě*. Tišnov.

LIN, Z., KANEDA, H., MUKOYAMA, S., ASADA, N., CHIBA, T., (2013): Detection of subtle tectonic–geomorphic features in densely forested mountains by very high-resolution airborne LiDAR survey. *Geomorphology* 182: 104–115.

LOŽEK, V. (1973): *Příroda ve čtvrtohorách*. Praha: Academia, 372 s.

MACKOVČIN, P., BRUS, J. a T. PETRUŇ (2020): Mury na svazích Červené hory jako důsledek extrémních srážek v červnu 1921. XX. svatováclavské setkání v Jeseníku: Voda v Jeseníkách a na Jesenicku: sborník referátů. Jeseník: Vlastivědné muzeum Jesenicka, s. 134-137. ISBN: 978-80-87632-72-7.

MELZER, M. a J. SCHULZ (1993): *Vlastivěda šumperského okresu*. 1. vyd. Šumperk: Okresní vlastivědné muzeum. 585 s., 115 obr. na příl. ISBN 80-85083-02-7.

NEMČOK, A, PAŠEK, J & RYBÁŘ, J. (1972): Classification of landslides and other mass movements. *Rock Mechanics*. 4(2): 71–78.

NOTEBAERT, B., VERSTRAETEN, G., GOVERS, G., POESEN, J., (2009): Qualitative and quantitative applications of LiDAR imagery in fluvial geomorphology. *Earth Surface Processes and Landforms* 34: 217–231.

- PÁNEK, T., ŠILHÁN, K., TÁBOŘÍK, P., HRADECKÝ, J., SMOLKOVÁ, V., LENART, J., BRÁZDIL, R., KAŠÍČKOVÁ, L., PAZDUR, A. (2011): Catastrophic slope failure and its origins: Case of the May 2010 Girová Mountain long-runout rockslide (Czech Republic). *Geomorphology*, Vol. 130, Issues 3-4, Pages 352-364.
- PÁNEK, T., BŘEŽNÝ, M., KAPUSTOVÁ, V., LENART, J., CHALUPA, V. (2019): Large landslides and deep-seated gravitational slope deformations in the Czech Flysch Carpathians: New LiDAR-based inventory. *Geomorphology* Vol. 346 (6):106852.
- PILOUS, V., (1973): Strukturní mury v Krkonoších, I. *Opera corcontica*, 10. p. 15-69.
- QUITT, E. (1971): Klimatické oblasti Československa. *Studia Geographica* 16. Brno: Geografický ústav ČSAV. 73 s.
- RUBÍN, J., BALATKA, B. a kol.: Atlas skalních a půdních tvarů. Praha 1986, 388 s.
- RYBÁŘ, J., STEMBERK, J., SUCHÝ, J. (1998): Cut-off of a railway line by earth flows in the Czech Republic during July 1997. In: MOOR, D., ed.: *Engineering Geology, A Global View from the Pacific Rim*. 8th International IAEG Congress. Balkema, Rotterdam, s. 2083-2089.
- RYBÁŘ, J., (1999): Rozbor příčin zvýšeného výskytu svahových deformací v České republice v červenci 1997. *geotechnika*, 2, c. 2, s. 7-14.
- ŠAFÁŘ, J. a kol. (2003): Olomoucko. In: MACKOVČIN, P. a SEDLÁČEK, M. (eds.): *Chráněná území ČR, svazek VI., Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a EkoCentrum Brno*, Praha, 456 pp.
- SMOLOVÁ, I., VÍTEK, J. (2007): *Základy geomorfologie. Vybrané tvary reliéfu*. Olomouc: Univerzita Palackého, 189 s.
- SOKOL, F. (1965): Vliv přírodního prostředí a lidské činnosti na vznik svahových sesuvů a dosavadní zkušenosti s jejich rekultivací v Hrubém Jeseníku I, II. Šumperk. 325 s. Kandidátská disertační práce.
- ŠPŮREK, M. (1972): Historical catalogue of slope phenomena. *Studia geographica* 19. Geografický ústav ČSAV, Brno, 180 s.
- TRACZYK A., KASPRZAK M., (2012): Morfologia masywu Zielonej Kopy w Górach Izerskich w świetle danych LIDAR i analizy geomorfometrycznej. *Przyroda Sudetów* 15: 169–188.

VAN DEN EECKHAUT, M., POESEN, J., VERSTRAETEN, G., VANACKER, V., NYSSSEN, J., MOEYERSONS, J., VAN BEEK, L.P.H., VANDEKERCKHOVE, L., (2007): Use How high-resolution DEM based on airborne LiDAR helped to reinterpret landforms 71 of LIDAR-derived images for mapping old landslides under forest. *Earth Surface Processes and Landforms* 32: 754–769.

VITÁSEK, F. (1954): *Fysický zeměpis II*. Vydala ČSAV Praha díl pevnina. 598 s.

WEISSMANNOVÁ, H. et al. (2004): Ostravsko. In: MACKOVČIN, P. a SEDLÁČEK, M. (eds.): *Cráněná území ČR X: 1–456*, AOPK a EkoCentrum Brno, Praha (in Czech)

WOLDŘICH, J., STEJSKAL, J. (1934): Geologický profil hliništěm a svážením v cihelně u Dolních Věstonic na Moravě. *Věda přírodní XV*.

YOUNG, A. (1972): *Slopes*. Oliver and Boyd, Edinburgh, 288 pp.

ZÁRUBA, Q., PFEFFERMANN, O. (1926): O sesouvání půdy v Čs. Republice. *Čs. Vlastivěda I*. 83. – Sesouvání půdy v oblasti českého útvaru křídového. *Slavíkovo číslo Věstníku St. Úst. Geol.* 1926 č. 5-8.

ZÁRUBA, Q., MENCL, V. (1957): *Inženýrská geologie*. Praha Nakladatelství ČSAV, 2. vyd. 486 s.

15.2 Seznam internetových zdrojů

Kdo způsobil sesuv na D8: Dostupné z: https://youtu.be/_0B4s1BuyBM

15.3 Seznam zdrojů mapových podkladů:

Data ArcČR © ČÚZK, ČSÚ, ARCDATA PRAHA 2022.

ČÚZK (2023): DMR 5G. Dostupné z:

<https://ags.cuzk.cz/arcgis2/rest/services/dmr5g/ImageServer>

ČÚZK (2023): WMS – ZM 10. Dostupné z:

https://geoportal.cuzk.cz/WMS_ZM10_PUB/WMSservice.aspx

ČÚZK (2023): WMS – ZM 25. Dostupné z:

https://geoportal.cuzk.cz/WMS_ZM25_PUB/WMSservice.aspx

ČÚZK (2023): WMS – ZM 50. Dostupné z:

https://geoportal.cuzk.cz/WMS_ZM50_PUB/WMSservice.aspx

ČÚZK (2023): WMS – ZM 100. Dostupné z:
https://geoportal.cuzk.cz/WMS_ZM100_PUB/WMSservice.aspx

ČÚZK (2023): WMS – ZM 200. Dostupné z:
https://geoportal.cuzk.cz/WMS_ZM200_PUB/WMSservice.aspx

Geologická mapa 1 : 50 000 - indexy, Geologická mapa 1 : 50 000 - doplňky, Geologická mapa 1 : 50 000, Klad listů ZM50. In: Geovědní mapy 1 : 50 000 [online]. Praha: Česká geologická služba [cit. 2023-02-09]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr50/>

Mapované svahové deformace, Registrační záznamy, Listoklad ZM 10. In: Svahové deformace [online]. Praha: Česká geologická služba [cit. 2023-01-18]. Dostupné z: https://mapy.geology.cz/svahove_nestability/

15.4 Zdroje obrázků

Obr. 1: ArcČR © ČÚZK, ČSÚ, ARCDATA PRAHA 2022.

DEMEK, J., MACKOVČIN, P. et al. (2006): Zeměpisný lexikon ČR. Hory a Nížiny. 2. vyd. Brno: AOPK ČR. 582 s. ISBN 80-86064-99-9.

Obr. 2: SOKOL, F. (1965): Vliv přírodního prostředí a lidské činnosti na vznik svahových sesuvů a dosavadní zkušenosti s jejich rekultivací v Hrubém Jeseníku I, II. Šumperk. 325 s. Kandidátská disertační práce.

Obr. 3: SOKOL, F. (1965): Vliv přírodního prostředí a lidské činnosti na vznik svahových sesuvů a dosavadní zkušenosti s jejich rekultivací v Hrubém Jeseníku I, II. Šumperk. 325 s. Kandidátská disertační práce.

Obr. 4: SOKOL, F. (1965): Vliv přírodního prostředí a lidské činnosti na vznik svahových sesuvů a dosavadní zkušenosti s jejich rekultivací v Hrubém Jeseníku I, II. Šumperk. 325 s. Kandidátská disertační práce.

Obr. 5: ČGS (2023): Geovědní mapy 1 : 25 000. Dostupné z:
<https://mapy.geology.cz/geocr25/>

Obr. 6: NĚMEC 2022

Obr. 7: NĚMEC 2023

Obr. 8: NĚMEC 2022

Obr. 9: NĚMEC 2023

Obr. 10 KUTÁLEK, S. (2005): Technická zpráva Pokusné plochy-sutě. Tišnov
NĚMEC 2023

Obr. 11: KUTÁLEK, S. (2005): Technická zpráva Pokusné plochy-sutě. Tišnov
NĚMEC 2023

Obr. 12: KUTÁLEK, S. (2005): Technická zpráva Pokusné plochy-sutě. Tišnov
NĚMEC 2023

Obr. 13: ČÚZK (2023): DMR 5G. Dostupné z:
<https://ags.cuzk.cz/arcgis2/rest/services/dmr5g/ImageServer>
NĚMEC 2023

Obr. 14: ČÚZK (2023): DMR 5G. Dostupné z:
<https://ags.cuzk.cz/arcgis2/rest/services/dmr5g/ImageServer>
NĚMEC 2023

Obr. 15: ČÚZK (2023): ČÚZK (2023): WMS – ZM 10. Dostupné z:
https://geoportal.cuzk.cz/WMS_ZM10_PUB/WMService.aspx
ČÚZK (2023): WMS – ZM 100. Dostupné z:
https://geoportal.cuzk.cz/WMS_ZM100_PUB/WMService.aspx
NĚMEC 2023

Obr. 16: Němec 2023

Obr. 17: Němec 2022

Obr. 18: ČÚZK (2023): DMR 5G. Dostupné z:
<https://ags.cuzk.cz/arcgis2/rest/services/dmr5g/ImageServer>
ČÚZK (2023): WMS – ZM 50. Dostupné z:
https://geoportal.cuzk.cz/WMS_ZM50_PUB/WMService.aspx
NĚMEC 2023

Obr. 19 ČÚZK (2023): DMR 5G. Dostupné z:
<https://ags.cuzk.cz/arcgis2/rest/services/dmr5g/ImageServer>
NĚMEC 2023

Obr. 20: Němec 2022

Obr. 21: Němec 2023

15.5 Zdroje příloh

Příloha 1: BECK, K. (1969): Technická dokumentace ke stržím v povodí Hučivé Desné. Státní lesy Krnov.

Příloha 2: DITTMAROVÁ, P. (2021): Dopady přírodních kalamit na lesní porosty ve vybrané části Hrubého Jeseníku. Univerzita Palackého v Olomouci. Olomouc. 75 s. Bakalářská práce.

Příloha 3: SOKOL, F. (1965): Vliv přírodního prostředí a lidské činnosti na vznik svahových sesuvů a dosavadní zkušenosti s jejich rekultivací v Hrubém Jeseníku I, II. Šumperk. 325 s. Kandidátská disertační práce.

Příloha 4: SOKOL, F. (1965): Vliv přírodního prostředí a lidské činnosti na vznik svahových sesuvů a dosavadní zkušenosti s jejich rekultivací v Hrubém Jeseníku I, II. Šumperk. 325 s. Kandidátská disertační práce.

Příloha 5: SOKOL, F. (1965): Vliv přírodního prostředí a lidské činnosti na vznik svahových sesuvů a dosavadní zkušenosti s jejich rekultivací v Hrubém Jeseníku I, II. Šumperk. 325 s. Kandidátská disertační práce.

Příloha 6: SOKOL, F. (1965): Vliv přírodního prostředí a lidské činnosti na vznik svahových sesuvů a dosavadní zkušenosti s jejich rekultivací v Hrubém Jeseníku I, II. Šumperk. 325 s. Kandidátská disertační práce.

Příloha 7: NĚMEC 2022

Příloha 8: NĚMEC 2022

Příloha 9: NĚMEC 2022

Příloha 10 NĚMEC 2022

Příloha 11: NĚMEC 2022

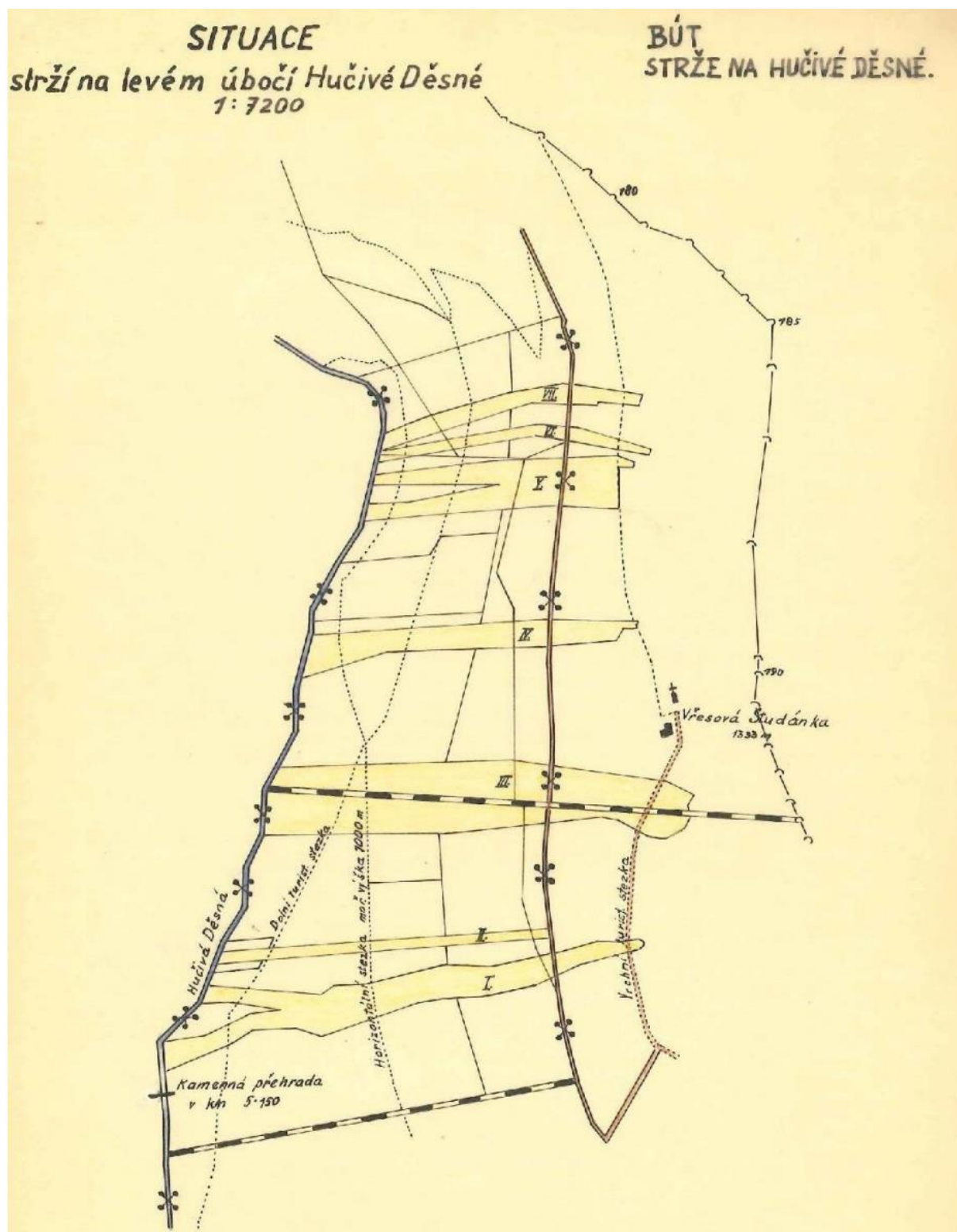
Příloha 12: NĚMEC 2022

Příloha 13: NĚMEC 2022

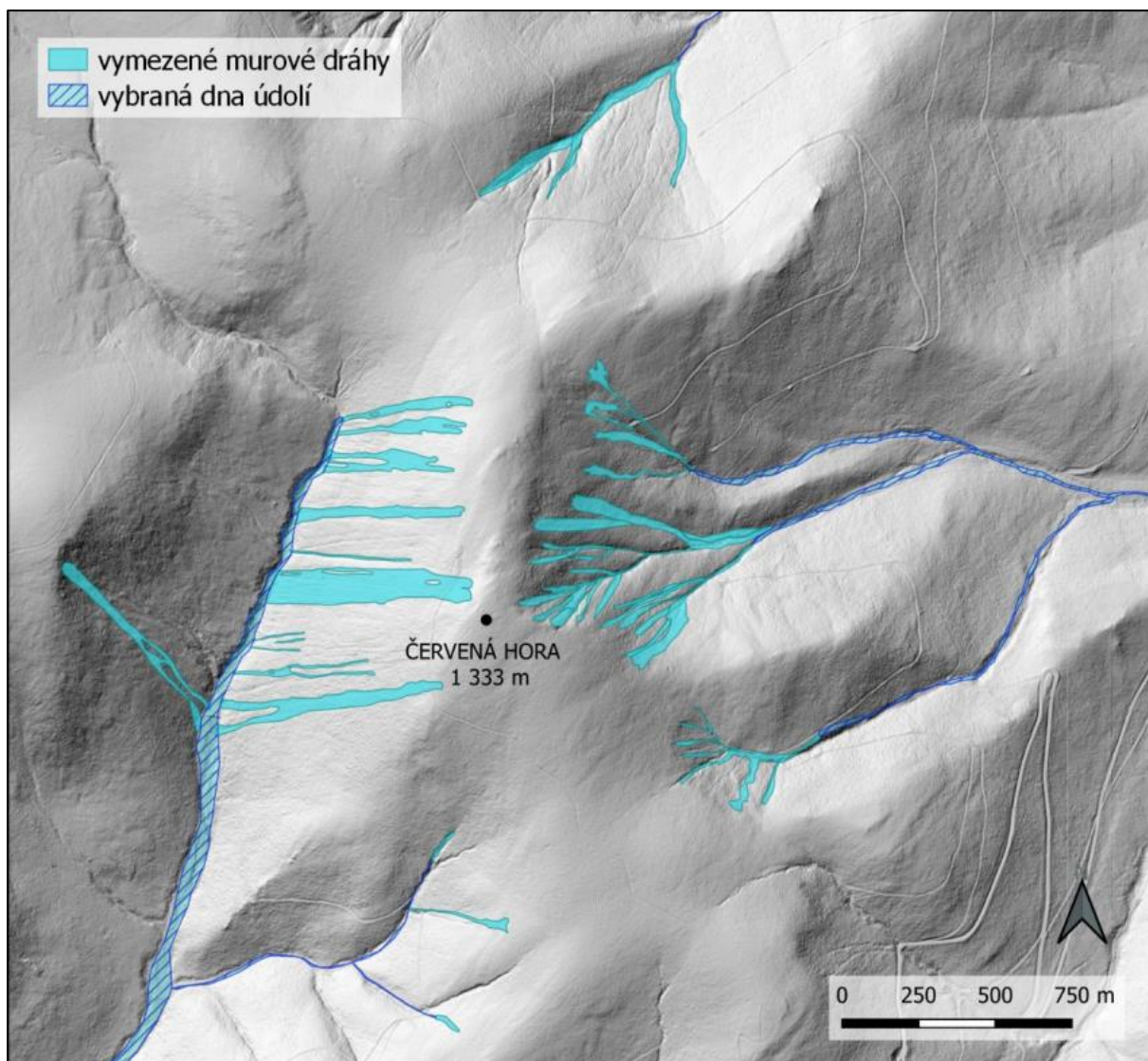
Příloha 14: NĚMEC 2023

Příloha 15: NĚMEC 2023

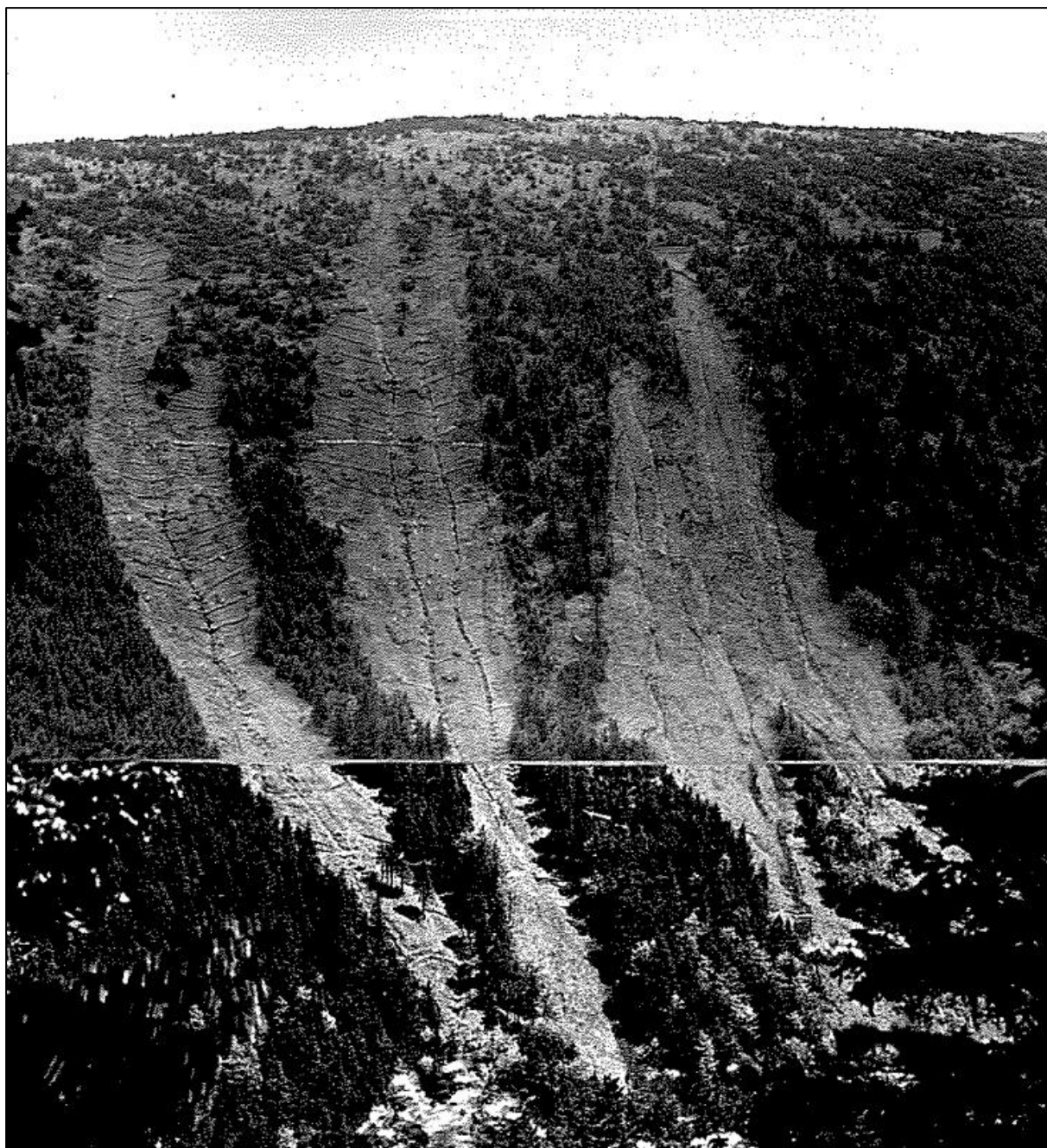
Přílohy



Příloha 1: Zákres murových drah na západním svahu Červené hory podle Sokola (1965)
Zdroj: BECK, (1969)



Příloha 2: Murové dráhy na svazích Červené hory a Spáleného vrchu indikované po 1. 6. 1921
Zdroj: Dittmarová 2021



Příloha 3 Dokončená první fáze sanačních opatření palisádovými ploty na západním svahu Červené hory
Zdroj: Sokol 1965



Příloha 4 Zjišťování koryt řek kamennými kaskádami k zachycení splaveniny ze svahů
Zdroj: Sokol 1965



Příloha 5 Technické zajišťování svahů pomocí palisádových plotů
Zdroj: Sokol 1965



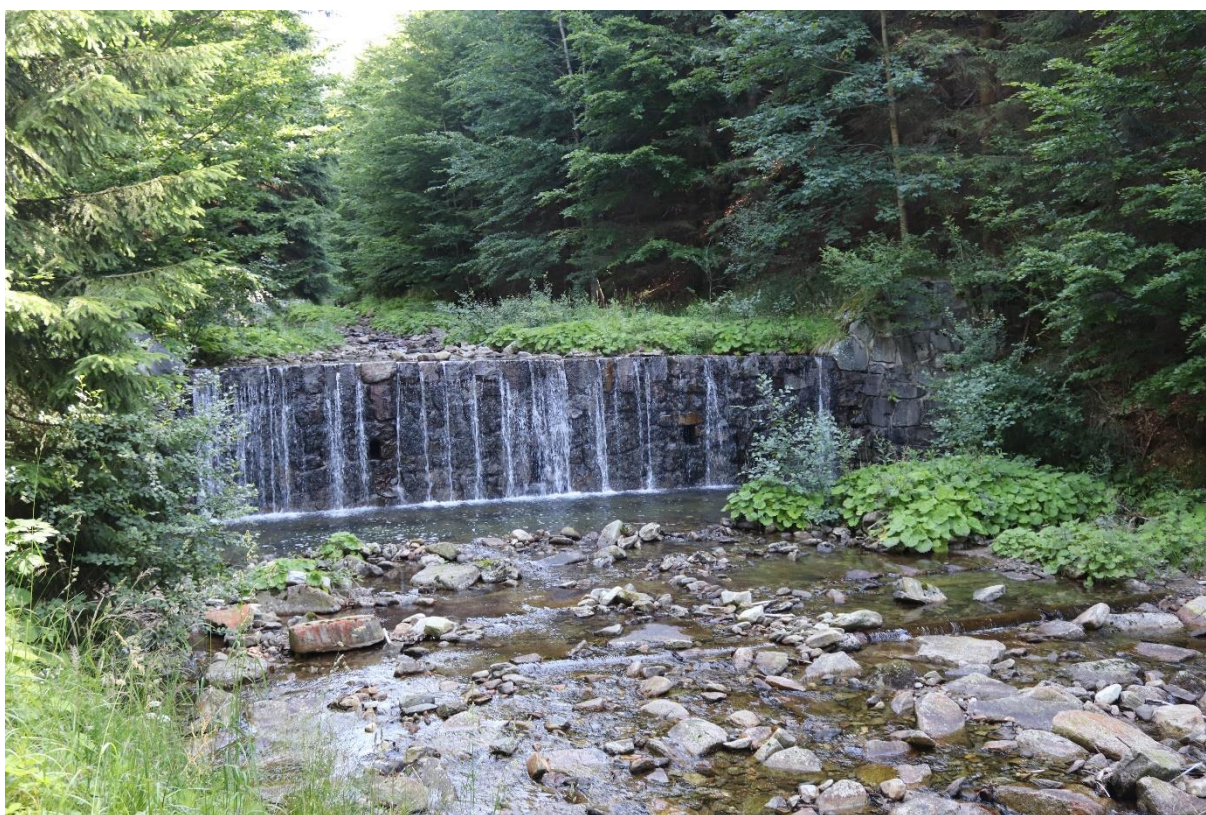
Příloha 6 Kaskádovité kamenné žlaby sloužící pro odvodňování svahů při vydatných deštích
Zdroj: Sokol 1965



Příloha 7 Zaměřování balvanů totální stanicí na Břidličné hoře
Zdroj: Němec 2022



Příloha 8 Velikost frakcí metamorfovaných kvarcitů na Břidličné hoře
Zdroj: Němec 2022



Příloha 9 Vzhled kamenných kaskád na řece Hučivé Desné v současnosti
Zdroj: Němec 2022



Příloha 10 Stabilizační kamenná zídka v pozadí s tzv. opilým stromem
Zdroj: Němec 2022



Příloha 11 Vzhled vybrané strže na západním svahu Červené hory
Zdroj: Němec 2022



Příloha 12 Opilý strom na západním svahu Červené hory
Zdroj: Němec 2022



Příloha 13 Opilé stromy různého stáří na západním svahu Červené hory
Zdroj: Němec 2022



Příloha 14 GNSS přístroj Leica GS18 v rozloženém i složeném stavu
Zdroj: Němec 2023



Příloha 15 Detail zapnutého laserového scanneru Leica RTC360 3D
Zdroj: Němec 2023