

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY KARLOVY
Katedra fyzické geografie a geoekologie



**POHYB ŽULOVÝCH BALVANŮ NA ČERTOVĚ LOUCE
(KRKONOŠE) V OBDOBÍ 2009–2012**

**MOVEMENTS OF PLOUGHING BLOCKS AT THE
ČERTOVA LOUKA SITE (KRKONOŠE MTS) IN 2009–2012**

(diplomová práce)

Lenka Horáčková

Vedoucí práce: RNDr. Zbyněk Engel, Ph.D.

PRAHA 2012

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci vypracovala samostatně, a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje.

V Praze dne 15. srpna 2012

Lenka Horáčková

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu práce RNDr. Zbyňku Engelovi, Ph.D., za věnovaný čas, poskytnuté materiály, cenné rady a připomínky a v neposlední řadě za pomoc při terénních měřeních, dále Mgr. Jakubu Jarošovi za pomoc při technickém zpracování a rodině za podporu a trpělivost.

ABSTRACT

Present researches of ploughing blocks deal with a recent blocks' activity issue and with causes of movement of the blocks downslope. Research at Čertova meadow has measured changes of boulders' locations in period 2009–2012, processes of undersurface temperature and dependence of movement on mass of the boulder and snow cover layout.

Triennial research didn't prove the movement of boulders dependence on mass of boulder, however it showed dependence depth into which boulders are embedded in the soil and height of the boulder above terrain. Annual changes of boulders' movement were irregular. The overall assessment in period 2009 – 2012 showed that more than half of the boulders were in correspondence with vertical and horizontal direction of movement downslope. For confirmation of the movement of boulders it is necessary to carry out long-term measurement.

Key words: ploughing blocks, periglacial environment, East Krkonoše Mts.

ABSTRAKT

Současné výzkumy plovoucích balvanů se zabývají otázkou recentní aktivity balvanů a příčinou vzniku pohybu balvanu po svahu dolů. Výzkum na Čertově louce hodnotil změny polohy balvanů v období 2009 – 2012, dále chod podpovrchových teplot a závislost pohybu na hmotnosti a rozložení sněhové pokrývky.

Tříletý výzkum neprokázal závislost pohybu balvanů na hmotnosti, potvrdil však závislost zanoření balvanu na hmotnosti balvanu a výšce balvanu nad terénem. Meziroční změny posunu balvanu byly nepravidelné. V celkovém hodnocení období 2009 – 2012 nastala u více než poloviny balvanů shoda vertikálního a horizontálního směru pohybu směrem dolů po svahu. Pro potvrzení pohybu balvanů po svahu by však bylo zapotřebí delšího časového horizontu měření.

Klíčová slova: plovoucí balvany, periglaciální prostředí, východní Krkonoše

OBSAH

SEZNAM GRAFICKÝCH PRVKŮ	7
1. ÚVOD	9
1.1 Cíle a struktura práce	9
2. PLOVOUCÍ BALVANY	11
2.1 Podmínky pohybu balvanu	11
2.1.1 Klimatické podmínky.....	12
2.1.2 Vlastnosti půdy a vegetace.....	12
2.1.3 Morfologie svahu	13
2.1.4 Velikost balvanu	14
2.2 Změna polohy balvanů.....	14
2.2.1 Mechanismy posunu	155
2.3 Teoretický model pohybu balvanů	17
2.4 Vnější projevy změn polohy balvanů	18
2.5 Způsoby sledování posunu plovoucích balvanů	20
2.6 Přehled výzkumů plovoucích balvanů na území Vysokých Sudet	21
3. FYZICKOGEOGRAFICKÁ CHARAKTERISTIKA STUDOVANÉ LOKALITY	23
3.1 Vymezení studované lokality.....	23
3.2 Geologické a geomorfologické poměry.....	24
3.2.1 Periglaciální procesy	26
3.3 Hydrologické poměry	29
3.4 Klimatické poměry	29
3.5 Půdy a Vegetace.....	32
3.6 Charakteristika plovoucích balvanů na Čertově louce	34
4. METODIKA PRÁCE	36
4.1 Zaměřování výchozího bodu	37
4.2 Terénní měření	37
4.2.1 Měření polohy balvanů	38
4.2.2 Výpočet objemu balvanů	38
4.3 Vyhodnocování dat	39
4.4 Měření půdních teplot.....	39

5.	VÝSLEDKY MĚŘENÍ PLOVOUCÍCH BALVANŮ.....	42
5.1	Hodnocení přesnosti měření polohy balvanů.....	42
5.2	Vertikální posun balvanů.....	44
5.3	Horizontální posun balvanů.....	48
5.4	Posun balvanů v období 2005 - 2012.....	52
5.5	Charakteristiky podpovrchových teplot.....	54
5.6	Charakteristiky zanoření balvanu a objemu balvanů.....	57
5.7	Zhodnocení pohybu balvanů.....	60
6.	DISKUZE.....	62
7.	ZÁVĚR.....	666
8.	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	688
	PŘÍLOHY.....	72

SEZNAM GRAFICKÝCH PRVKŮ

OBRÁZKY

Obr. č. 1: Znázornění pohybu frost creep.....	15
Obr. č. 2: Teoretický model posunu pomocí frost creep a geliflukce	16
Obr. č. 3: Změny hloubky promrznutí (A) a tání (B) pod blokem a v okolní půdě	17
Obr. č. 4: Morfologické znaky plovoucích balvanů	18
Obr. č. 5: Vymezení studované lokality	23
Obr. č. 6: Areál plovoucích balvany na Čertově louce (pohled od východu)	24
Obr. č. 7: Geologická mapa zájmového území.....	25
Obr. č. 8: Vymezení periglaciálních tvarů ve východních Krkonoších.....	28
Obr. č. 9: Směry větru nad Stříbrným hřbetem	32
Obr. č. 10: Půdní profil před a za balvanem na Čertově louce.....	33
Obr. č. 11: Schéma rozmístění balvanů na Čertově louce	36
Obr. č. 12: Odrazný hranol na balvanu č. 1	38
Obr. č. 13: Ocelový výběžek na balvanu č. 1	38
Obr. č. 14: Směry horizontálního posunu balvanů za jednotlivá období	511
Obr. č. 15: Směry horizontálních posunů balvanů za období 2005/2012.....	513
Obr. č. 16: Závislost hloubky zanoření na výšce balvanu nad terénem a hmotnosti balvanu..	58
Obr. č. 17: Závislost vertikálního a horizontálního pohybu ve směru spádnice	600
Obr. č. 18: Závislost horizontálního posunu ve směru spádnice na mocnosti sněhu	601

GRAFY

Graf č. 1: Průměrné měsíční teploty na meteorologické stanici Luční bouda.....	30
Graf č. 2: Průměrné měsíční úhrny srážek na meteorologické stanici Luční bouda	31
Graf č. 3: Převládající směr větru na meteorologické stanici Luční bouda.....	32
Graf č. 4: Vertikální posun balvanů mezi roky 2009 a 2012.....	45
Graf č. 5: Vertikální posun balvanů mezi roky 2009 a 2010.....	45
Graf č.6: Vertikální posun balvanů mezi roky 2010 a 2011.....	46
Graf č. 7: Vertikální posun balvanů mezi roky 2011 a 2012.....	46
Graf č. 8: Změna relativní výšky vůči výchozímu bodu mezi roky 2005 a 2012	54

Graf. č. 9: Hodnoty teplot v půdě pro období prosinec 2010 – květen 2011	57
Graf. č. 10: Hodnoty teplot v půdě v období prosinec 2011 – květen 2012.....	57

TABULKY

Tab. č. 1: Přehled terénních měření.....	37
Tab. č. 2: Umístění teplotních čidel v půdě.....	400
Tab. č. 3: Přehled maximálních chyb přístroje pro jednotlivé balvany.....	43
Tab. č. 4: Přehled vertikální změny polohy mezi jednotlivými po sobě jdoucími měřeními...47	
Tab. č. 5: Horizontální posuny balvanů.....	49
Tab. č. 6: Horizontální změna polohy mezi jednotlivými měřeními.....	511
Tab. č. 7: Změny polohy balvanů mezi roky 2005 a 2012	53
Tab. č. 8: Charakteristiky regelačních cyklů v půdě u balvanu č. 8.....	56
Tab. č. 9: Charakteristiky regelačních cyklů v půdě u balvanu č. 23	56
Tab. č. 10: Průměrné měsíční podpovrchové teploty a měsíční teploty vzduchu	56
Tab. č. 11: Přehled vybraných charakteristik balvanů.....	59
Tab. č. 12: Přehled závislostí a jejich korelačních koeficientů	611

1. ÚVOD

Plovoucí balvany řadíme do skupiny periglaciálních jevů, které aktivně vznikly za intenzivní regelace v periglaciálních oblastech v chladných obdobích Pleistocénu. Periglaciální jevy se projevují nad hranicí lesa a jsou tak indikátory vývoje povrchu Vysokých Sudet v posledním glaciálu a holocénu (Křížek et al. 2007).

Plovoucí balvany jsou považovány za jeden z nejběžnějších jevů periglaciálního prostředí a jsou obvykle spojovány s geliflukcí (Ballantyne et Harris 2011). Studium výškové stupňovitosti periglaciálních jevů ukázalo, že plovoucí balvany reprezentují nejnižší stupeň současné periglaciální aktivity (Ballantyne 2001), díky tomu jsou tyto periglaciální formy často recentně aktivní (Trembl 2003) a jsou vhodným indikátorem současných periglaciálních svahových procesů v těchto výškách (Wilson 1993).

Plovoucí balvany v Krkonoších jsou relikty žulového zvětrávání během Pliocénu a Pleistocénu (Sekyra et al. 2001). Podle morfologie okolního reliéfu a vlastního tvaru balvanů můžeme předpokládat, že mohly být v chladnějších obdobích holocénu (případně i v současnosti) částečně reaktivovány (Křížek 2004). Hlavní otázkou jsou však mechanismy pohybu balvanů, které stále nebyly dostatečně vysvětleny (Ballantyne 2001).

1.1 Cíle a struktura práce

Cílem diplomové práce je zhodnocení změn polohy sledovaných balvanů na lokalitě Čertova louka v Krkonoších v období 2009 – 2012 s ohledem na předchozí výzkum na studované lokalitě. Dále pak kvantifikace objemu a hmotnosti balvanů pro zhodnocení vztahu hmotnosti s pohybem balvanů a monitoring podpovrchových teplot zvětralinového pláště pro získání informací a průběhu regelačních cyklů v půdě.

V rešeršní části shrnuji poznatky o plovoucích balvanech, jejich výskytu a příčinách pohybu. Především se zaměřuji na problematiku změn pohybu balvanů. Zabývám se mechanismy způsobujícími posun balvanů po svahu a morfologickými znaky, které vznikly díky změnám polohy balvanů. V další kapitole shrnuji fyzicko-geografické charakteristiky zájmového území s ohledem na periglaciální jevy a plovoucí balvany. V kapitole Metodika měření se věnuji metodice terénních prací (tj. geodetické měření balvanů, kvantifikace objemů, monitoring podpovrchových teplot) a dále zpracování a interpretaci dat. K této části příkládám podkapitolu věnující se přesnosti měření. Výsledky práce jsou zařazeny v páté kapitole. Kon-

krétně se jedná o zhodnocení vertikálních a horizontálních posunů, korelaci hmotnosti balvanů s horizontálními a vertikálními pohyby a interpretaci podpovrchových teplot zvětralinového pláště. Doplňující podkapitolou je zhodnocení výsledků práce v porovnání s předchozím pozorováním z roku 2005. V diskuzi hodnotím výsledky této práce s výsledky studií plovoucích balvanů z Česka i ze zahraničí, s důrazem na předchozí výzkum na Čertově louce a v závěru shrnuji získané poznatky.

2. PLOVOUCÍ BALVANY

Plovoucí balvany jsou bloky horniny, které se pohybují dolů po svahu rychleji než okolní půda, za sebou vytvářejí rýhu nebo lineární depresi a před sebou val půdy (Ballantyne 2001).

V literatuře jsou známy pod různými termíny, např. ploughing boulders (Ballantyne 2001, Wilson 1993), ploughing blocks (Hall et al. 2001), gliders nebo gliding blocks (Shaw 1977 in Ballantyne 2001) či wanderblöcke (Kuhle 1978 in Ballantyne 2001). V české literatuře pak jako plovoucí bloky (Sekyra 1960), putující bloky (Janásková 2005, Kadlečík 2007). Termín blok je v české literatuře užíván spíše pro ostrohranný útvar, v této práci budu užívat termín balvan, který lépe odpovídá tvaru balvanů ve studované lokalitě. Pro znázornění pasivního pohybu balvanu se v této práci užívá termínu „plovoucí“ podle práce Sekyry (1960).

Při výzkumu recentně aktivních balvanů zůstávají hlavní otázkou mechanismy pohybu balvanů, které stále nebyly dostatečně vysvětleny. Výskyt plovoucích balvanů je běžný na porostlých svazích hor středních zeměpisných šířek (Ballantyne 2001). Nejvíce výzkumů plovoucích balvanů známe z Britských ostrovů (Ballantyne 2001, Chattopadhyay 1983, Tufnell 1972) a Skandinávie (Berthling et al. 2001a, Reid et Nesje 1988), dále jsou výskyty zaznamenány v Alpách, Apeninách, Pyrenejích, Kavkazu, pohořích Rumunska, Řecka (Ballantyne 2001) a také na území Vysokých Sudet (Králík et Sekyra 1969, Sekyra et al. 2001, Švábenský et Wiegel 2004). Plovoucí balvany zaznamenáváme i na vzdálenějších pohořích jako jsou Himaláje, Ťan-šan (Gorbunov 1991 in Ballantyne 2001) pohoří jihovýchodního Íránu, Mc Gregor mountains v Kanadě (Hall et al. 2001) či pohoří Rock and Pillar Range Nového Zélandu (Grab et al. 2008).

2.1 Podmínky pohybu balvanu

Z dlouhodobých výzkumů recentně aktivních balvanů vyplývá několik důležitých aspektů, které podmiňují začátek aktivity balvanů. Jedná se především o fyzicko-geografické podmínky (klimatické podmínky, půdní vlastnosti, vegetace, morfologie svahu) nebo rozměry balvanů (Ballantyne 2001, Grab et al. 2008, Sekyra 2001, Tufnell 1972).

2.1.1 Klimatické podmínky

Základním předpokladem pro pohyb balvanů jsou klimatické podmínky. V pohořích středních zeměpisných šířek se balvany vyskytují pouze nad určitou nadmořskou výškou. Ve Velké Británii jsou známé výskyty recentně aktivních balvanů již od 600 m. n. m., ojedinělé výskyty nalezneme i ve výškách 450 m n. m. (Ballantyne 2001). Tyto balvany se nacházejí v pohoří Skotska (Northwest highlands) s průměrnou roční teplotou vzduchu 4 °C a průměrným úhrnem srážek asi 3000 mm. Jedním z hlavních procesů způsobující posun balvanů je podle výzkumů (Ballantyne 2001, French 2007, Sekyra et al. 2001) geliflukce. Je zde tedy nezbytná přítomnost sezónně zmrzlé půdy s častými regelačními cykly. Předpokladem pro vznik geliflukce jsou lokality, kde na jaře nastane krátkodobé promrznutí vodou nasáklé půdy (Sekyra et al. 2001). Průběhem regelačních cyklů v Krkonoších se podrobně zabývala Prosová (1961) (viz kapitola 3.2). Pro intenzivní soliflukci je důležitá dostatečná vlhkost půdy u základny balvanu, kterou zajišťuje vyšší sněhová pokrývka (Sekyra et al. 2001). Sněhová pokrývka zastupuje jak funkci hydrologickou, tak i tepelnou. Prosová (1961) uvádí vliv sněhové pokrývky jako tepelného izolátoru. Souvislá sněhová pokrývka zabraňuje nepravidelnému a zvýšenému promrznutí půdy. Rozdílnost v rychlosti pergelace a depergelace může být ještě více umocněna, jestliže vrch balvanu vyčnívá nad sněhovou pokrývkou, zatímco přilehlá půda je pokrytá sněhem. Půda je poté chráněna od změn teplot vzduchu a od vlivu slunečního záření (Ballantyne 2001). Tepelnou funkci sněhu potvrzuje Grab et al. (2008). Prostorový výskyt plovoucích balvanů v pohoří Rock and Pillar range se shoduje s oblastí velké akumulace sněhu. Oproti tomu stabilní nepohyblivé balvany se nachází na nechráněném vyšším svahu, kde se vyskytuje sníh pouze 92 dní v roce (Grab et al. 2008). Nepřítomnost plovoucích balvanů, zde může souviset se silnějším a delším promrznutím a s nedostatečnou vlhkostí ze sněhu (Grab et al. 2008). Důležitost role sněhu jako environmentální kontroly pro rozvoj plovoucích balvanů ještě zcela není vyřešena, protože dlouho ležící sněhová pokrývka může zároveň mít efekt zpomalení procesů, jelikož doba procesu regelace se tím omezí na krátké letní období (Grab et al. 2008).

2.1.2 Vlastnosti půdy a vegetace

Wilson (1993) uvádí několik vlastností půd podporující vznik pohybu balvanu. První z nich je vyšší mrazová náchylnost půdy, která souvisí s granulometrickým složením zeminy. Podle křivky mrazové náchylnosti Beskova (1985, in Ballantyne 2001) jsou jemnozrnné půdy

mrazově náchylnější a podporují tvorbu půdního ledu (Sekyra 1960). Tuto myšlenku dokládají Ballantyne et Harris (2011) na absenci plovoucích balvanů na hrubozrnných půdách, které nejsou vhodné pro formování segregančního ledu. Jemnozrnné půdy mají sklon i k nízkým mezím plasticity a zkapalnění půdy (Ballantyne 2001), které Wilson (1993) uvádí jako další vlastnosti podporující pohyb balvanů po svahu. Ve své studii však Wilson (1993) zjistil u plovoucích balvanů vysoké meze pro zkapalnění a plastickou deformaci, což vysvětluje možností lokálně soustředěné geliflukce přímo pod balvanem. K překročení těchto limitů poklesu třecích sil v půdě a následnému pohybu, může podle Wilsona (1993) dojít při tání izolovaného ledu u základny balvanu a tím dosažení vysokého tlaku vody v pórech, který je větší než rozptyl vody do okolní nerozmrzlé půdy. Wilson (1993) a Sekyra et al. (2001) také uvádí, že výskyt vyšších mezí zkapalnění a plastické deformace může být důsledkem většího množství organického materiálu v půdě. Zmenšením pórů zvyšuje organická hmota mrazovou náchylnost. Organické koloidy mají větší akumulaci kapacity než koloidy minerální, a tak mohou póry působit jako zdroj vody pro vznik izolovaného ledu (Wilson 1993).

Podle studií Ballantyna (2001) a Sekyry et al. (2001) jsou plovoucí balvany typické pro zapojený vegetační kryt. Vegetační pokryv působí jako tepelný izolátor, při nerovnoměrném rozložení vegetace dochází k různému stupni promrzání půdy a vzniku nepravidelných půdních posunů. Přítomnost travní a bylinné vegetace v blízkosti plovoucích balvanů, lokálně zvyšuje půdní organický obsah, následně poskytuje zvětšování půdních pórů, a tím podporuje tvorbu segregančního ledu (Sekyra et al. 2001).

2.1.3 Morfologie svahu

Plovoucí balvany se nejčastěji vyskytují na svazích se sklonem 8 – 34° (Ballantyne 2001). Ačkoli Ballantyne (2001) nezaznamenal žádný plovoucí balvan na svahu se sklonem menším než 4° a větším než 38°, což potvrzují i výzkumy dalších autorů (Chattopadhyay 1983), Hall et al. (2001) ve svém výzkumu výjimečně zaznamenal plovoucí balvany i na svahu o sklonu 1°. Sekyra (1960) uvádí přímou závislost rychlosti pohybu balvanů na sklonu svahu, tedy že s rostoucím sklonem svahu se zvyšuje rychlost pohybu. Tento poznatek dokazuje i studie Ballantyna (2001), jehož výsledky ukazují jednoznačný exponenciální vztah mezi rychlostí pohybu balvanů a sklonem svahu.

2.1.4 Velikost balvanu

Studie ve Velké Británii (Ballantyne 2001) ukázala absenci pohybu u balvanů menších než 20 cm. Je zde tedy určitá kritická hodnota pro započetí pohybu. Ballantyne (2001) znamená známku pohybu rychlejšího než okolní půda pouze u balvanů v průměru větších než 20 – 25 cm. Menší balvany se na svahu vyskytují, ale nevykazují znaky putování (Ballantyne 2001). U balvanu s větší hmotností můžeme očekávat vynaložení většího tlaku proti půdě před balvanem, naopak menší balvany pravděpodobně neuplatňují dostatečný tlak na půdu před balvanem, k tomu aby došlo k posunu (Ballantyne et Harris 2011). Tento poznatek potvrdil ve své studii na Novém Zélandu Grab et al. (2008).

2.2 Změna polohy balvanů

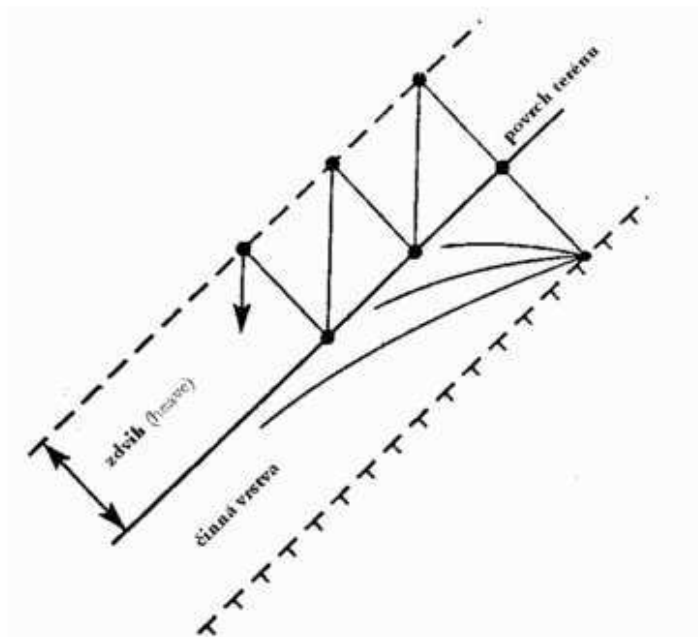
I přes mnoho detailních výzkumů pohybu balvanů (Ballantyne 2001, Berthling et al. 2001a, Grab et al. 2008, Tufnell 1972 ad.) není mechanismus posunu balvanů stále dostatečně vysvětlen. Ballantyne (2001) ve své studii v pohořích Skotska zjistil, že rozmístění plovoucích balvanů se přesně shoduje se zmapovaným územím aktivních soliflukčních ploch a laloků. Tento poznatek objevil ve svých průzkumech již Kelletat (1970, in Ballantyne 2001). Rozmezí hodnot sklonu svahu, na kterých se vyskytují plovoucí balvany (4 – 38°) je téměř shodné i pro aktivní soliflukci (Ballantyne et Harris 2011). Blízké prostorové spojení mezi plovoucími balvany a aktivními soliflukčními formami, společně s jejich vzájemným omezením na mrazově náchylnou půdu naznačuje, že plovoucí balvany se pohybují dolů po svahu pomocí soliflukce (Grab et al. 2008). Hlavními složkami soliflukce je geliflukce a frost creep (Matsuoka 2001). Další vlastností, která může přispívat k posunu, je například rozdílná tepelná vodivost balvanu a půdy, která podmiňuje vznik izolovaného ledu pod balvanem a následné tání (Sekyra et al. 2001). Pro tyto procesy je v oblasti periglaciální zóny důležitá intenzita střídavého rozmrzání a zamrzání půdy v jarních a podzimních měsících, zvaná regelace.

2.2.1 Mechanismy posunu

Frost creep

„Ploužení („creep“) je pomalé tečení hmoty, kdy napětí v hornině nebo zemině nepřekročí mez pevnosti, ale přesto dochází k deformacím.“ (Demek 1987, str. 203) V případě, že se tento azonální proces váže na chladné klima a přítomnost půdního ledu, nazýváme jej frost creep (Dylik 1967). Frost creep je charakterizován mrazovým zdvihem částic a následným poklesem během tání (French 2007). Schéma pohybu je znázorněno na obr. č. 1, při mrznutí jsou balvany zvedány ve směru normály, tj. kolmici ke spádnici, avšak při následném tání klesají přibližně ve vertikálním směru (French 2007). Za jednu z možných příčin pohybu balvanů považuje zdvih a následný pokles balvanu Tufnell (1972).

Obr. č. 1: Znázornění pohybu frost creep



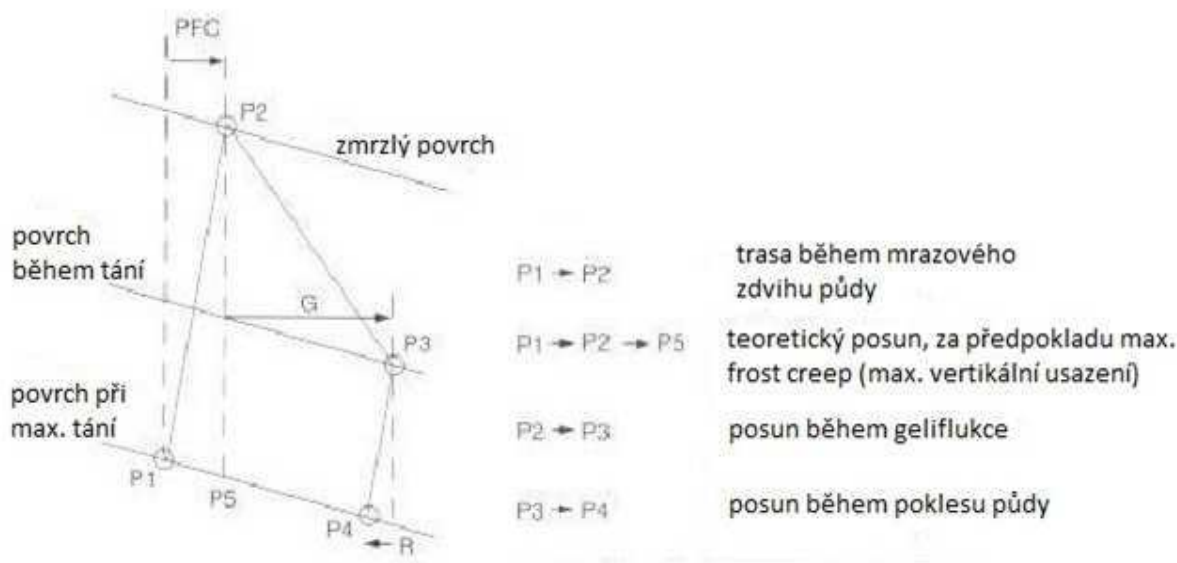
Zdroj: French 2007

Geliflukce

Geliflukce je typ soliflukce vyskytující se nejen na permafrostu, ale i na sezónně zmrzlé půdě (Dylik 1967). Jedná se o roztátí horní vrstvy půdy a následné splývání roztáté hmoty po zmrzlém podloží (Sýkora 1960). Základní podmínkou pro tento proces je povrchový nepevněný materiál nasycený vodou (Dylik 1967). Tání půdního ledu v období regelace je spolehlivým faktorem nasycení půdy vodou, bez ohledu na tání sněhu (Dylik 1967). Nadbytek vody redukuje tření a soudržnost půdy a díky nízkému tření po nerozmrzlé a tím nepropustné

vrstvě má aktivní hmota velkou pohyblivost, a má schopnost stékat po mírném svahu (Dylik 1967). Geliflukci jako hlavní mechanismus pohybu, podmíněnou větší teplotní vodivostí kamene proti okolí, uvádí ve svých pracích Ballantyne (2001) a Sekyra et al. (2001). Na obr. č. 2 je znázorněn teoretický posun částic pomocí procesů frost creep a geliflukce.

Obr. č. 2.: Teoretický model posunu pomocí frost creep a geliflukce



Zdroj: Harris et Davis 2000 in French 2007

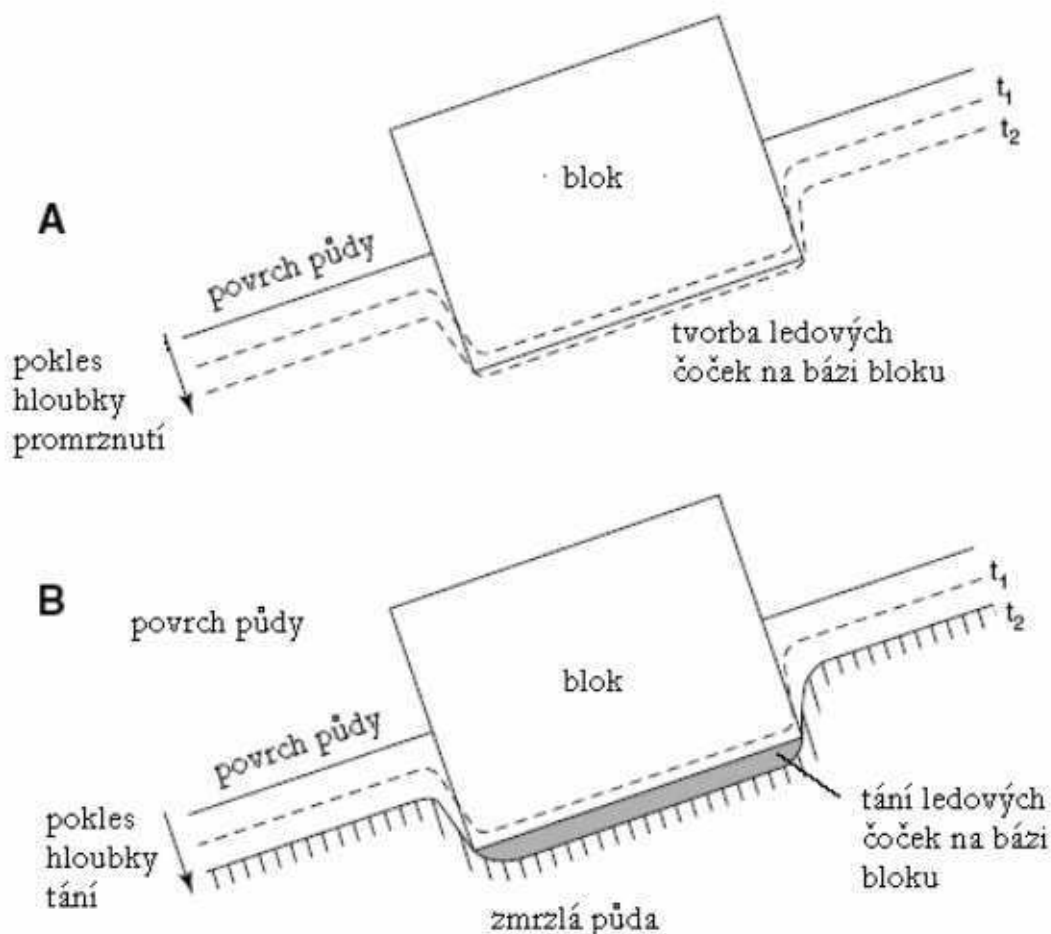
Tepelná vodivost

Tepelná vodivost horniny je řádově větší než tepelná vodivost okolní vlhké půdy. Latentní teplo v okolní půdě je spotřebovááno na fázovou přeměnu vody, což má za následek pomalejší rychlost promrzání (obr. č. 3). Větší rychlost promrzání skrz balvan může být příčinou lepších podmínek pro vnik izolovaného ledu pod balvanem (Tufnell 1972). V období tání naopak půda pod balvanem, vlivem teplotní vodivosti a insolace, roztává dříve než okolní půda. Tání izolovaného ledu vytvořeného během mrznutí může mít za následek vytlačování zkapalněného bahna a posun balvanu vlivem gravitace (Ballantyne 2001).

Ačkoli tato teorie byla rozvíjena se vztahem k výjimečně velkému balvanu (Reid a Nesje 1988), nabízí alternativní obecný model pro zrychlený posun balvanů, který koreluje s dostatkem poznatků, které byly prozatím nashromážděny k charakteristikám plovoucích balvanů (Grab et al. 2008).

Teplotní vodivost může být ještě více umocněna, pokud balvan vyčnívá nad sněhovou pokrývkou, zatímco přilehlá půda je pokrytá sněhem. Půda je na rozdíl od balvanu chráněna od změn teplot vzduchu a od vlivu slunečního záření (Ballantyne 2001).

Obr. č. 3: Změny hloubky promrznutí (A) a tání (B) pod blokem a v okolní půdě



Zdroj: upravil Kadlečík 2007, podle Ballantyne 2001

2.3 Teoretický model pohybu balvanů

Teoretický model posunu balvanů pomocí geliflukce, podmíněný rozdílnou teplotní vodivostí balvanu a okolní půdy, uvedl ve své práci Ballantyne (2001). Ve svém výzkumu Ballantyne (2001) zjistil vytváření ledových čoček pod balvanem během zimního období. Rozvoj ledových čoček pod balvanem je způsoben mrazovou náchylností půdy a rozdílem tepelné vodivosti balvanu a okolní půdy. Na počátku jarního tání, ledové čočky roztávají dříve než okolní půda a voda z ledových čoček zůstává zachycena pod balvanem (obr. č. 3). Nadbytek vody uvolněné táním ledových čoček pod balvanem má za následek růst hydrostatického

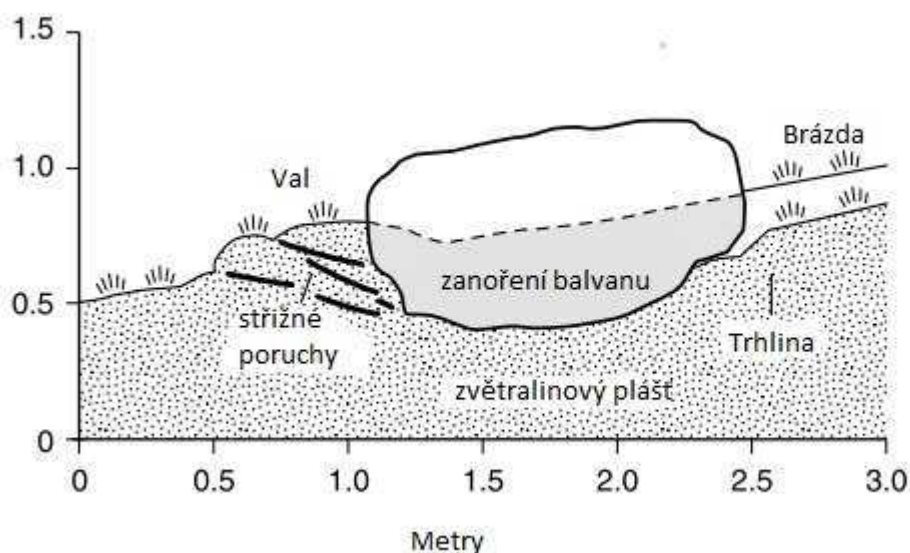
tlaku vody v pórech pod balvanem a snížení meze pevnosti v půdě. Díky postupnému tání okolní půdy a vysokému tlaku může docházet ke sjíždění balvanu po kluzké vrstvě zkapalněné zeminy. Tento pohyb je však krátkodobý. Následkem uvolňování nadbytku vody pod balvanem při posunu klesá tlak vody v pórech, způsobuje zvýšení meze pevnosti a tím znovudosažení stability.

Na rozdíl od Tufnella (1972), Ballantyne (2001) příliš nepočítá s větším přispěním procesu frost creep k horizontálnímu pohybu balvanů. Zatímco led pod balvanem již taje, podle jeho modelu je půda před balvanem stále zmrzlá, a proto balvan nemůže klesnout ve směru po svahu (Ballantyne 2001).

2.4 Vnější projevy změn polohy balvanů

Nepřímé doklady o změnách polohy balvanů ukazují typické morfologické charakteristiky (obr. č. 4): val před balvanem (ve směru po svahu), brázda za balvanem (proti směru svahu) a úzké hluboké rýhy těsně za kamenem (Sekyra et al. 2001). Dalšími projevy změn polohy balvanů může být změna orientace delší osy balvanu, zanoření balvanu či výskyt určitých druhů vegetace (Ballantyne 2001, Sekyra et al. 2001).

Obr. č. 4: Morfologické znaky plovoucích balvanů



Zdroj: upraveno podle Ballantyna 2001

Brázda

Deprese (brázda) je prohlubeň za balvanem, která může dosahovat délky až několik desítek metrů (Reid et Nesje 1988). Kolem brázd se mohou vyskytovat i postranní valy, které jsou spíše blíže k balvanu a směrem proti svahu se vytrácejí (Grab et al. 2008).

Brázdy mají také významnou hydrologickou funkci, soustřeďují a vedou vodu k balvanům a pod báze balvanů, což je důležité především v suchých oblastech (Grab et al. 2008). Vyšší štěrkovitost v brázdách můžeme přičíst právě vymývání jemných částic při jarním tání a prudkých deštích (Grab et al. 2008).

Grab et al. (2008) našli mírnou závislost mezi rozměry balvanu a délkou brázdy, žádný vztah však mezi rozměry a hloubkou brázdy. Ballantyne (2001) uvádí, že délka brázdy pozitivně souvisí s velikostí balvanu. Za předpokladu, že délka brázdy odráží rychlost posunu balvanu, Chattopadhyay (1983) interpretuje závislost délky brázdy na rozměrech balvanu dvěma způsoby:

1. Velké balvany mají sklon k vytváření širších a hlubších brázd, které mají větší šanci odolat zanášení půdou a tudíž zachovávají větší délku rýhy za balvanem.

2. Větší balvany mají sklon k větší rychlosti. Tato možnost může být spojena s tím, že balvany „putují“, v případě že překročí kritickou hranici hmotnosti.

Mírná závislost mezi hloubkou, do které jsou balvany zabořeny a výškou balvanu nad povrchem, vede k logickému závěru, že balvany vyčnívající nejvíce nad terén, mají sklon být nejvíce zabořeny do půdy a tudíž vytvářet hlubší rýhy (Ballantyne 2001). Tuto myšlenku podporuje i relativně silný vztah mezi hloubkou rýhy a výškou balvanu nad povrchem (Ballantyne 2011).

Val

Dalším charakteristickým znakem je val půdy před či po stranách balvanu, který vznikl při tlaku balvanu na půdu (Ballantyne 2001). Tento val zobrazuje rychlost pohybu balvanu, která přesahuje rychlost pohybu okolní půdy (Ballantyne et Harris 2011). Výjimečně může val dosahovat až několik metrů před balvan. Přímá korelace mezi mocností valu a objemem balvanu zatím nebyla prokázána.

Většina valů je porostlá vegetací, což potvrzuje ve své studii Grab et al. (2008), kde je až 91% valů pokryto vegetací. Vegetace valu často postupně zarůstá přilehlý balvan (Kadlečík 2007).

Trhlina

Za balvanem se může objevit několik centimetrů široká trhlina, často vedoucí až k bázi balvanu (Ballantyne et Harris 2011), která může poukazovat na recentní aktivitu (Ballantyne 2001). Trhlina však nemusí naznačovat vždy posun balvanu po svahu, nýbrž může být také indikátorem směru odtoku vody (Ballantyne 2001).

Druh vegetace

Výskyt některých druhů rostlin může poukazovat na pohyb či naopak stabilitu balvanu. Recentní pohyb balvanů, může například indikovat uplatnění metličky křivolaké (*Avenella flexuosa*), který snese trháni i převrácení drnu (Sekyra et al. 2001). V okolí balvanů na Bílé louce v Krkonoších také objeveny druhy s velmi vysokými vlhkostními nároky např. bezkole nec modrý (*Molinia caerulea*), avšak nerostly na balvanech, pouze v jejich okolí (Sekyra et al. 2001). Naopak výskyt smilky tuhé (*Nardus stricta*), který je netolerantní k půdnímu narušení, je spíše indikátorem stability balvanu (Sekyra et al. 2001).

Orientace

Často můžeme u balvanů pozorovat nasměrování delší osy balvanu ve směru spádnice. Ve studii Ballantyna (2001) se jedná o 75 % balvanů, které jsou svojí podélnou osou natočeny max. do 30° od spádnice. Také Grab et al. (2008) ve své studii na pohoří Rock and Pillar range uvádí, že většina (70 %) trojúhelníkových, protáhlých či nepravidelně tvarovaných balvanů má podélnou osu směrem po spádnici. Je pravděpodobné, že se tak balvany orientují ve směru nejmenšího odporu (Ballantyne et Harris 2011).

2.5 Způsoby sledování posunu plovoucích balvanů

Posuny balvanů mohou být posuzovány podle nepřímých důkazů, jakými jsou různé charakteristiky balvanu a vnější znaky posunu uvedené v kapitole 2.3. Val, deprese, trhlina a zanoření balvanu lze snadno kvantifikovat pomocí rozměrů. Tyto znaky se často hodnotí v souvislosti se sklonem svahu, nadmořskou výškou, či orientací balvanu. Slabou až mírnou nelineární závislost objevil mezi délkou a hloubkou brázdy s délkou balvanu, šířkou balvanu a výškou balvanu nad povrchem. Mírná závislost byla zjištěna mezi zanořenou částí a výškou balvanu nad povrchem (Ballantyne 2001).

Podrobně se také zkoumá vegetační pokryv v okolí balvanu i na něm. Nepřímé vyvrácení či potvrzení posunu balvanů podporuje i výskyt některých druhů bylin (viz kapitola 2.3). Hall (2001) například ověřil recentní pohyb plovoucích balvanů na příkladu uvolněných subalpínských jedlí (*Abies lasiocarpa*), rostoucích v přední části balvanu.

V případě přímého měření posunu se může jednat o měření vzdálenosti balvanu od tyče, zaražené do půdy (přibližně 1 m hluboko) ve svahu blízko nad balvanem (Ballantyne 2001). Odchyly od vertikálního směru byly kontrolovány pomocí sklonoměru a olovnice. Vzdálenost od balvanu byla měřena pomocí ocelové pásky. Další možností je přesné geodetické zaměřování či GPS metody. V roce 2000 Švábenský et al. (2003) započal zaměřování několika balvanů na 3 lokalitách v okolí Labské louky a Violíku, pomocí GPS pozorování, nivelace a tachymetrických metod (vzdálenosti a úhly). Pro zaměření sítě byl zřízen referenční bod na vojenském opevnění v blízkosti Zlatého návrší. V každé lokalitě byl vybrán jeden bod pro zaměření z referenčního bodu pomocí statické GPS metody. Referenční bod je vázán na státní souřadný systém ETRF-89 přes bod Žalý, který je zahrnut do státní satelitní sítě DOPNUL. Na každém balvanu byly pro zaměřování zřízeny malé mosazné vruty.

Kadlečík (2007) ve své studii na Čertově louce použil zaměřování viditelným laserem (viz kapitola 5.1).

2.6 Přehled výzkumů plovoucích balvanů na území Vysokých Sudet

Prvním výzkumem plovoucích balvanů v Krkonoších byl výzkum Prosové, probíhající v letech 1954 – 1957 na Stříbrném hřbetu (Sekyra et al. 2001). Balvany se vyskytovaly na svahu 5 – 35° a dosahovaly průměru 1,5 m. Za 3 roky Prosová naměřila změnu pohybu 20 cm. Studium výskytu plovoucích balvanů provedli Králík et Sekyra (1969). Lokalizovaly plovoucí balvany do nejvyšších poloh Krkonoš a zaznamenali rozměrné balvany ležící severně od Luční hory nad karem Úpské jámy. Jahn et Cielińska (1974) provedli první systematické měření plovoucích balvanů na území Krkonoš. Měření bylo prováděno na dvou lokalitách (Kociol Labski a Kociol Szrenicki) na polské straně Krkonoš o nadmořské výšce 1120 – 1220 m n. m. Měření probíhalo od roku 1960 do roku 1970 na 4 balvanech. Pohyb balvanů byl zaznamenán 8,5 – 132 cm za 10 let.

Sekyra et al. (2001) v západních Krkonoších podrobně studoval celkem 157 balvanů na svahu do 20° v oblasti mezi pramenem Labe a křižovatkou U Čtyř pánů v nadmořské výš-

ce 1360 – 1385 m n. m. U balvanů podrobně studoval rozměry, morfologické charakteristiky (val, deprese), složení vegetace na balvanu a v jeho okolí a také půdní složení pomocí půdních sond.

Treml (2003) se zabýval výškovým rozmístěním plovoucích balvanů nad hranicí alpinského lesa. Zjistil, že ze 45 balvanů, které se vyskytují v dole Bílého Labe, v Dlouhém dole a na Stříbrném hřbetu, se většina nachází nad nadmořskou výškou 1275 m n. m., přičemž dolní hranice výskytu je přibližně 50 - 100 m nad alpínskou hranicí lesa.

Švábenský et al. (2003) započal roku 2000 přesné geodetické zaměrování (viz kapitola 2.4) na 3 lokalitách v blízkosti pramene Labe. Měření probíhá na svazích o sklonu 3 – 15° na jižním svahu Violíku, jižně od pramene Labe a asi 300 m severně od rozcestí čtyř pánů. Většina ze zaměřovaných balvanů je porostlá vegetací.

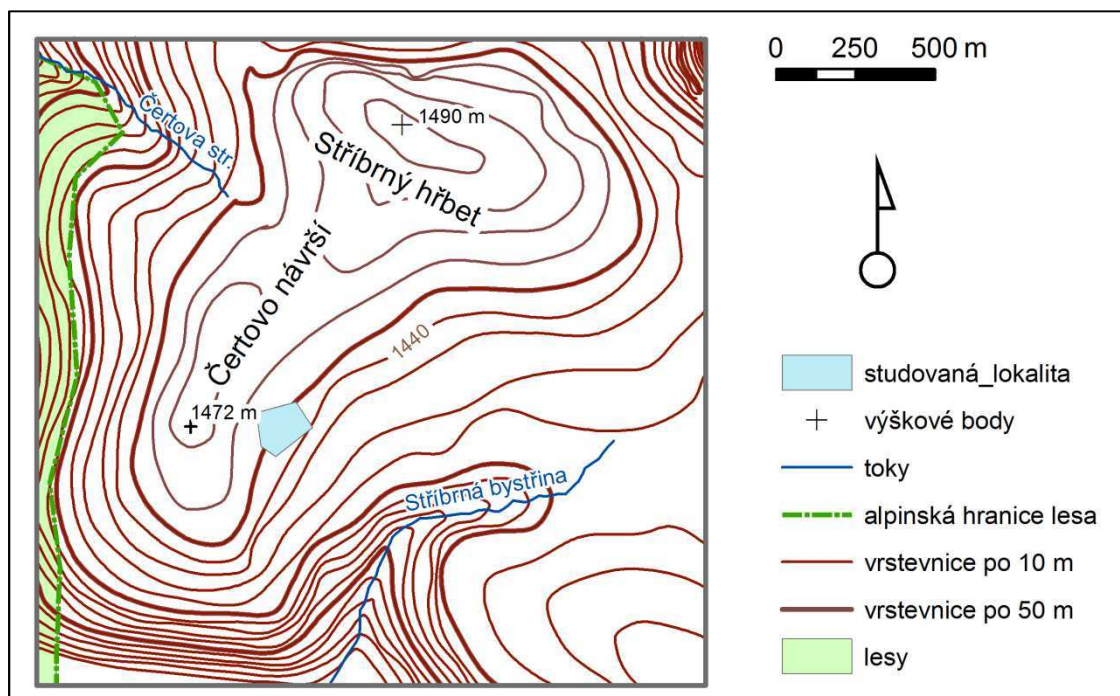
Výzkum plovoucích balvanů probíhá také na lokalitě západního svahu Keprníku v Hrubém Jeseníku (Křížek 2004). Geodetické zaměrování zde probíhá od roku 2004 (Engel, ústní sdělení).

3. FYZICKOGEOGRAFICKÁ CHARAKTERISTIKA STUDOVANÉ LOKALITY

3.1 Vymezení studované lokality

Studovaná lokalita plovoucích balvanů ve východních Krkonoších byla vymezena na jihovýchodním úbočí Čertova návrší. Tato lokalita je nazývána Čertova louka.

Obr. č. 5: Vymezení studované lokality

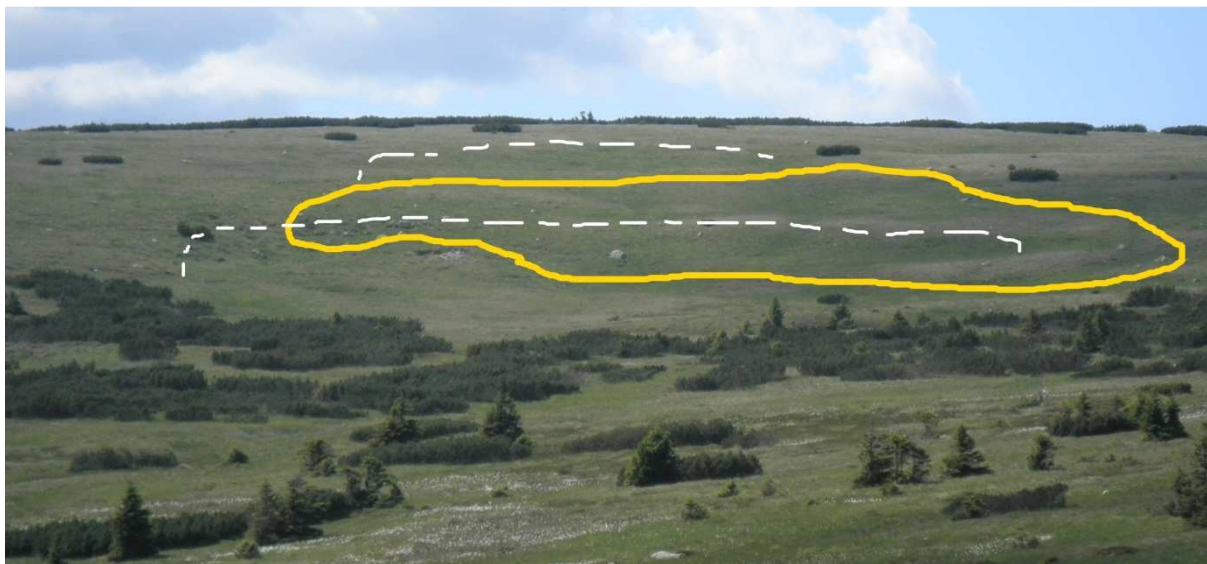


Zdroj: datové vrstvy KRNAP, upraveno

Studovaná lokalita (obr. č. 5) leží jižně od Stříbrného hřbetu s vrcholem Smogornica (1490 m n. m.). Ze Stříbrného hřbetu vystupuje výběžek Čertovo návrší s vrcholem 1472 m. Svah, na němž se vyskytuje studovaná lokalita, pokračuje do údolí Stříbrné bystřiny. Na levé straně Stříbrné bystřiny pokračuje jako Stříbrné návrší. Tato oblast je zarovnaným povrchem ve výšce 1400 – 1550 m n. m., nacházející se nad alpínskou hranicí lesa (Králík et Sekyra 1969). Na Čertově louce se vyskytuje velké množství žulových balvanů, jak v porostech kleče, tak i na svahu neporostlém kosodřevinou. Plovoucí balvany, které byly studovány, se vyskytují na lokalitě o velikosti přibližně 3,5 ha. Tato lokalita není pokryta kosodřevinou,

v těsné blízkosti studované lokality se vyskytují pouze osamocené ostrůvky kleče. V této lokalitě se vyskytují i dvě nivační deprese (obr. 6), na větší z nich roztává akumulace sněhu až v průběhu června (Janásková 2005).

Obr. č. 6: Areál plovoucích balvanů na Čertově louce (pohled od východu)

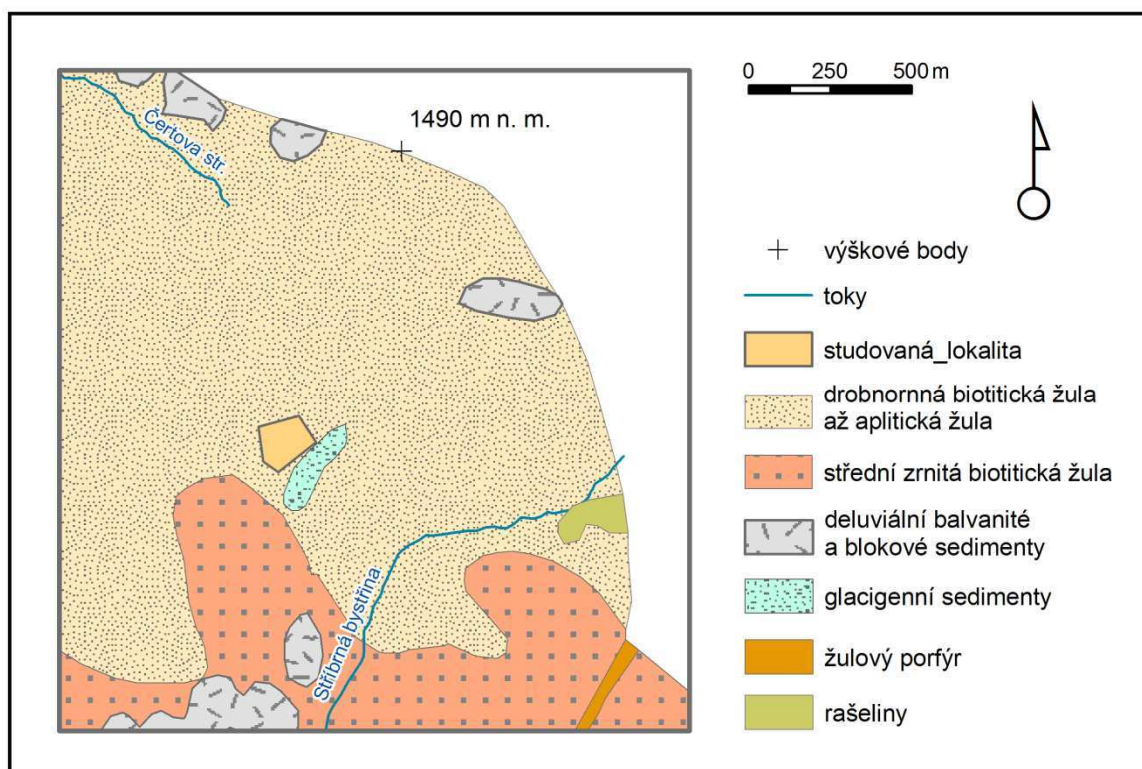


Poznámka: žlutě je označen areál plovoucích balvanů
bíle přerušovaně jsou označeny hrany nivačních depresí

3.2 Geologické a geomorfologické poměry

Studovaná lokalita Čertovy louky patří do oblasti krkonošsko-jizerského krystalinika (Chaloupský 1969), tvořené žulovým plutonem, který vznikl intruzí magmatu do starších hornin (krystalických břidlic) v období svrchního karbonu (Chaloupský 1969). Pozdější denudací byl pluton obnažen a dnes vystupuje až na povrch (Chaloupský 1989). Je tvořen především monotónnějšími, převážně porfyrickými biotitickými granity (Líbalová 1964). V zájmovém území se vyskytuje převážně drobnozrná žula. Jak je vidět na obr. č. 7, v jižní části území přechází drobnozrná žula ve středně zrnitou. Drobnozrná biotitická žula je odolná a při rozpadu tvoří tory a kamenná moře (Jeník et Sekyra 1995).

Obr. č. 7: Geologická mapa zájmového území



Zdroj: : Datové vrstvy KRNAP

Studovaná oblast se nachází ve vrcholové části Krkonoš, která byla formována od paleogénu postupnou erozí a odnosem materiálu do okolních pánví (Králík et Sekyra 1969). Podle Králíka a Sekyry (1969) můžeme vývoj reliéfu rozdělit do tří etap.

První z nich je období tvoření terciárního penneplénu, kdy díky teplému a humidnímu klimatu, které panovalo až do starších třetihor, docházelo k intenzivnímu chemickému zvětrávání (Králík et Sekyra 1969). Penneplenační pochody vedly ke snižování relativních výšek a k obnažování hlubších částí zemské kůry – krkonošskému plutónu. Postupně se zájmové území stalo zarovnaným povrchem (Sekyra 1964).

V druhém období při saxonské tektonice v oligocénu, došlo k oživení starých zlomových linií a následnému výzdvihu ker, zhruba do dnešních nadmořských výšek (Chlupáč et al. 2002). Další geomorfologický vývoj zájmového území podrobně popsali Králík et Sekyra (1969): Díky nárůstu relativní výšky, došlo ke zvýšené erozi vodních toků a odnosu materiálu. Ke zvýšené erozi významně přispěla i změna klimatu (oteplení a zvýšené množství srážek), kdy se výrazně uplatňovalo chemické zvětrávání hornin. Síť toků se zařezávala do struktury pohoří a vytvořila reliéf, který byl podobný tomu dnešnímu. Docházelo ke zpětné erozi a toky se s uplatněním nestejně odolnosti hornin dostali koncem třetihor přes hranici tvrdých kon-

taktních hornin. Bílé Labe pramenicí u Luční boudy vytvořilo údolí zahloubené do měkčího podkladu středně zrnité žuly, vedoucí podél kontaktního pásma tvrdých metamorfovaných hornin. V oblasti zájmového území, zůstal zachován zarovnaný povrch z penneplenizačního období (Králík et Sekyra 1969).

Počátek posledního období (období říční a ledovcové modelace) nastal koncem mladších třetihor, kdy nastalo rychlé ochlazování, později v pleistocénu, i rychlé střídání teplot a střídání glaciálů a interglaciálů (Králík et Sekyra 1969). Hlavními modelačními činiteli se staly periglaciální procesy a horské ledovce. Zájmové území se nacházelo v periglaciální zóně, bylo vystaveno změnám teplot, mrazovému zvětrávání a přemodelování reliéfu (Králík et Sekyra 1969). V okolí studované oblasti se předpokládá výskyt horského zalednění v údolí Bílého Labe (Šebesta et Tremel 1976). Ledovcové či firnové příkrovy pokrývaly nejvyšší náhorní plošiny pouze v době würmského zalednění, tedy největšího rozšíření ledovce (Šebesta et Tremel 1976).

Výskyt náhorního ledovce v oblasti Bílé louky studovali Sekyra et Sekyra (2002), tento výskyt však ještě nebyl prokázán. Chladné klima bylo zesíleno díky kontinentálnímu ledovci, který se dostal v době největšího rozsahu zalednění na severním předhůří Krkonoš (Králík et Sekyra 1969).

3.2.1 Periglaciální procesy

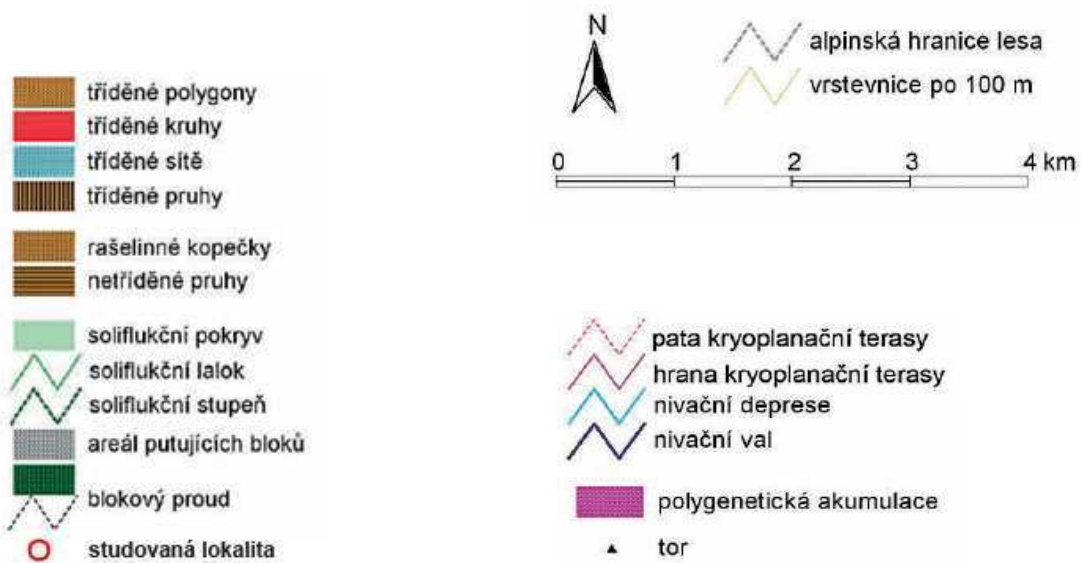
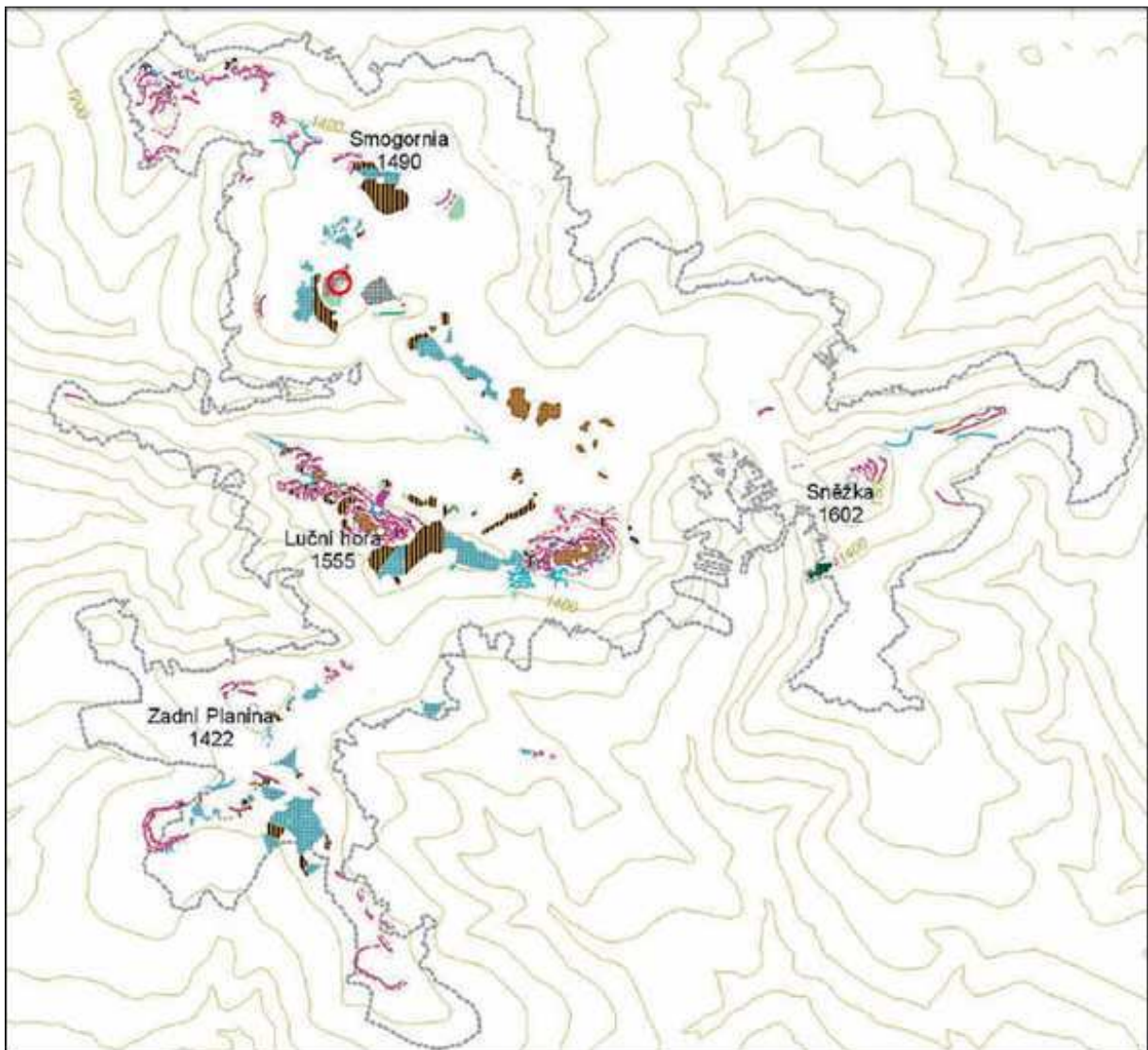
V chladných obdobích glaciálu, intenzivně působily ve zvětralém plášti kryogenní procesy. Díky existenci permafrostu a intenzivní regelaci mohly vzniknout periglaciální tvary, které se zachovaly na zarovnaném povrchu Krkonoš dodnes (Sekyra 1960). Někteří autoři charakterizují periglaciální oblast jako území nad alpínskou hranicí lesa (Ballantyne et Harris 2011). Jiní autoři podmiňují vymezení oblasti přítomností permafrostu (Pewe 1969). Podle Frenche (2007) můžeme do periglaciální oblasti řadit lokality s průměrnou roční teplotou menší než 3 °C. Tato teplota přibližně odpovídá vrcholovým partiím Krkonoš (průměrná roční teplota na Sněžce je 0,3 °C (Głowicky 1997 in Janásková 2005). Výskyt periglaciálních jevů není podmíněn pouze klimatem, ale i charakterem regolitu, obsahem vody ve zvětralině, sklonem svahu a exponovaností vůči větru (Tremel 2003). Díky malému výškovému rozpětí nad alpínskou hranicí lesa (cca 200 – 300 m), není v Krkonoších vyvinuta výšková stupňovitost periglaciálních jevů (Tremel 2003). Podle Tremela (2003) nelze ve vrcholových partiích Krkonoš plošně mluvit o recentní periglaciální zóně. Většina periglaciálních tvarů jsou pozů-

statky doby ledové a můžeme je označit za fosilní. Recentní jevy můžeme nalézt na extrémních stanovištích (deflační vrcholy a lokality v blízkosti mocných akumulací sněhu).

Podrobným výskytem a rozložením periglaciálních tvarů v Krkonoších se zabýval Křížek a kol. (2007). Nejčastějším jevem na zájmovém území jsou půdní mrazové formy (obr. č. 8). V blízkosti studované lokality se vyskytují vyvinuté tříděné sítě a pruhy a soliflukční laloky. Další tvar rašelinné kaskády nalezneme na východním svahu Čertovy louky a Stříbrném návrší (Kociánová a Štursová 2002).

Procesy, které se aktivně podílejí na periglaciálních jevech, můžeme rozdělit do 3 skupin: za prvé působení mrazu, za druhé pohyb zvětralin na svazích (mrazové ploužení a soliflukce) a za třetí nivaci (Washburn 1979). Nejrozšířenějšími procesy, jsou procesy s činností mrazu, tedy opakovaným táním a mrznutím vody v půdě, známé jako regelace (Washburn 1979). „Termínem regelace označujeme střídání zamrznání (pergelace) a rozmrznání (depergelace) nejsvrchnější části litosféry, způsobené kolísáním teploty kolem bodu mrazu.“ (Prosová 1961, s. 217). Recentní regelací v horských oblastech Českého masivu se podrobněji zabývá Prosová (1961). Prosová vyčleňuje dvě regelační období. Hlavní (jarní) regelační období začíná v průměru počátkem března a doba trvání je přibližně 3 měsíce. Proces depergelace zpočátku nastává v poledních hodinách a proces pergelace nastupuje v odpoledních hodinách. Postupem času, se změnou průměrných denních teplot se rozmrznání přesouvá více do ranních hodin a mrznutí až do večerních hodin. Druhé regelační (podzimní) období je méně intenzivní, trvá od počátku října do druhé poloviny listopadu a má opačný časový průběh pergelace a depergelace. Nejintenzivnější regelace podle Prosové (1961) nastává v období s nízkými průměrnými měsíčními teplotami (-5 °C až +5 °C), při nízké oblačnosti, s minimálními srážkami a s ustupující sněhovou pokrývkou.

Obr. č. 8: Vymezení periglaciálních tvarů ve východních Krkonoších



Zdroj: Křížek, Tremel, Engel (2007)

3.3 Hydrologické poměry

Studovaná lokalita patří do povodí Bílého Labe, které pramení v Úpském rašeliništi a teče podél tvrdého kontaktního pásma hornin směrem na západ až k soutoku s Labem. Oblast Čertovy louky je odvodňována Stříbrnou bystřinou, která je pravostranným přítokem Bílého Labe. Stříbrná bystřina pramení v rašeliništi přibližně 1 km na západ od studované lokality a po 1,5 km se vlévá do Bílého Labe. Toky řek mají nevyrovnané podélné profily s velkým spádem. Stříbrná bystřina klesne na vzdálenosti 1 km přibližně o 100 výškových metrů. Eroze převažuje nad akumulací dna a jsou zde výrazné a náhlé výkyvy vodnosti (Halasová et al. 2007). Maximální průtoky řek nastávají díky tání sněhu v jarních měsících (květen a duben) a nejmenší jsou díky utlumení odtoku při nízkých teplotách v zimě (leden, únor), vedlejší minimum průtoků připadá na září (Halasová et al. 2007).

Horniny studované lokality mají velice nízké zásoby podzemní vody, můžeme zde hovořit pouze o vodě puklinové (Fanta 1969). Na horních tocích je díky nepropustnému podloží povrchový odtok až 80% (Hladný et Sýkora 1983). K vysokému povrchovému odtoku přispívají i rozsáhlé porosty smilky tuhé, která má vysoký koeficient povrchového odtoku (Fanta 1969). Tyto nepříznivé poměry kompenzují vysoké srážky, tavné vody z dlouhotrvající sněhové pokrývky a plochý reliéf, který neumožňuje rychlý odtok vody. Přirozenými zásobárnami vody jsou rašeliniště, které mají pozitivní vliv na stabilizaci režimu vodních toků (Fanta 1969). Avšak po nasycení vodou po dlouhotrvajících deštích, ztrácí rašeliniště svou retenční schopnost a přispívají ke zvýšení průtoků v tocích (Ferda 1963 in Jánský 2004).

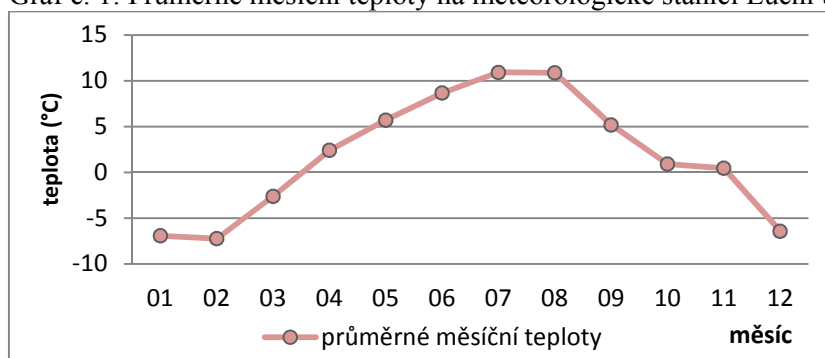
3.4 Klimatické poměry

Studovaná lokalita Čertovy louky spadá podle Quitta (1971) do chladné klimatické třídy CH4. Obecně lze říci, že je zde charakteristická chladná, vlhká zima s dlouhotrvající sněhovou pokrývkou, dlouhá jarní a podzimní období a krátké, chladné léto, které se vyznačuje vysokou vlhkostí (Hladný et Sýkora 1983). Studované území, má vyrovnaný chod meteorologických prvků (na rozdíl od návětrných a závětrných údolí i karů) (Jeník 1961). Průměry z meteorologické stanice Luční bouda jsou počítány pro období únor 2009 až červenec 2012 (první měření na meteorologické stanici Luční bouda proběhlo 20. ledna 2009).

Teplota vzduchu

Oblast studované lokality leží v nadmořské výšce 1430 až 1460 m n. m., tedy přibližně 150 metrů níže než meteorologická stanice na vrcholu Sněžky. Na základě dlouhodobé průměrné teploty vzduchu Sněžce 0,3 °C (za období 1901 – 1995) (Głowicky 1997 in Janásková 2005), a s přihlédnutím k teplotnímu gradientu (0,65 °C/100 m), lze průměrné roční teploty vzduchu v zájmovém území přibližně odhadnout na 1,5 °C. Této hodnotě přibližně odpovídá roční průměr teploty vzduchu 2 °C, naměřený na stanici Luční bouda (v období únor 2009 – červenec 2012). Graf č.1 ukazuje průměrné měsíční teploty na stanici meteorologické stanici Luční bouda. V dlouhodobém průměru je nejchladnějším měsícem leden a nejteplejším červenec (Coufal et Šebek 1969).

Graf č. 1: Průměrné měsíční teploty na meteorologické stanici Luční bouda

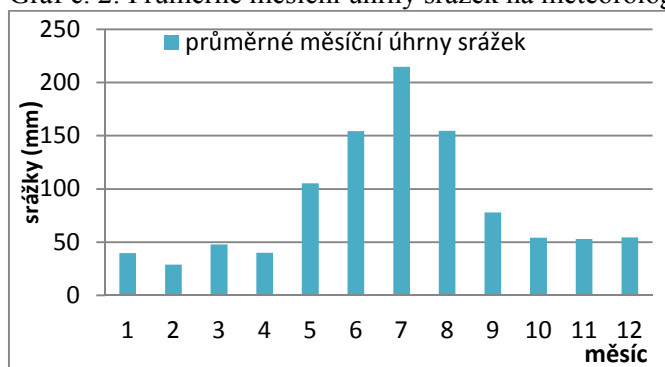


Poznámka: průměrné hodnoty za období únor 2009 – červenec 2012

Úhrn srážek

Ve vrcholových částech Krkonoš mají úhrny srážek během roku dvě maxima (červenec a v prosinec) a dvě minima (duben a září) (Halášová et al. 2007). Červencové maximum a dubnové minimum potvrzuje graf č. 2. Podle dlouhodobých ročních průměrů v období 1961 až 2000 je průměrný roční úhrn srážek pro studovanou oblast (1430 – 1460 m n. m.) více než 1600 mm (Halášová et al. 2007).

Graf č. 2: Průměrné měsíční úhrny srážek na meteorologické stanici Luční bouda



Poznámka: průměrné hodnoty za období únor 2009 – červenec 2012

Sněhové poměry

Ve vrcholových partiích Krkonoš uvádí Coufal et Šebek (1969) průměrný počet dní se sněhovou pokrývkou až 180. Tento poznatek potvrzuje i měření na meteorologické stanici Luční bouda, která uvádí průměrný počet dní se sněhovou pokrývkou 179. Na studované lokalitě bylo rozložení sněhové pokrývky podrobně studováno dvě zimní období v letech 2003 – 2005 (Janásková 2005), jedno zimní období 2008/2009 (Horáčková 2009) a zimní období 2010/2011 (Tryzna 2011). Všechna tato měření ukázala velkou amplitudu mocnosti sněhové pokrývky. Největší mocnosti sněhu se vyskytovaly v nivační depresi. V zimě 2004/2005 bylo naměřeno v této nivační depresi až 480 cm (Janásková 2005). V zimních období 2008/2009 a 2010/2011 byla největší mocnost sněhu přes 4 m (Horáčková 2009, Tryzna 2011). První odtátá místa se objevovala při měřeních na přelomu dubna a května a poslední sníh odtál ze sledované lokality v druhé půlce června (Horáčková 2009).

Větrné poměry

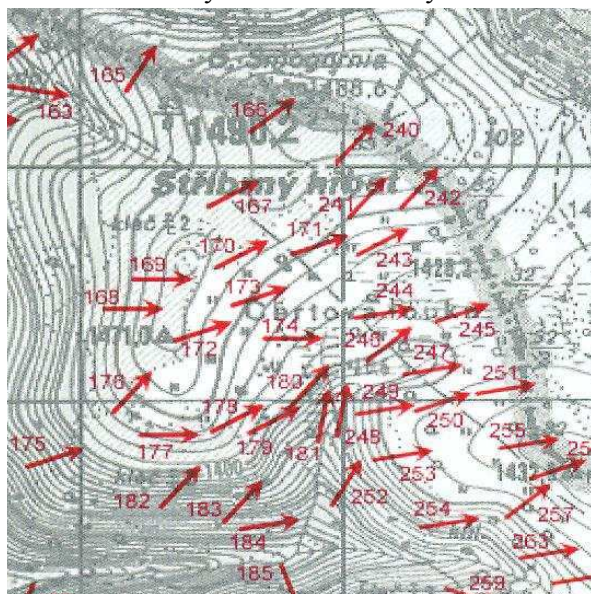
Směr větrů na Čertově louce ukazuje studie Šindelářové (2003) (obr. č. 9), která uvádí převažující jihozápadní směr proudění ($210 - 260^\circ$) na Čertově návrší, Stříbrném hřbetu a Stříbrném návrší. Převládající jihozápadní směr větru studované oblasti potvrzuje graf č. 3, ze stanice Luční bouda.

Vysokých rychlostí dosahuje vítr především v zimních měsících, kdy sníh vytváří hladký povrch bez terénních nerovností a větrné proudy na náhorních plošinách se urychlují, díky menšímu tření (Coufal et Šebek 1969). Průměrná roční rychlost větru je na meteorologické stanici Luční bouda 5 m/s.

Na rozložení směrů a rychlostí větru mají výrazný vliv především hluboká údolí zápa-do-východního směru. Výrazný anemo-orografický systém Bílého Labe, který má přímý vliv

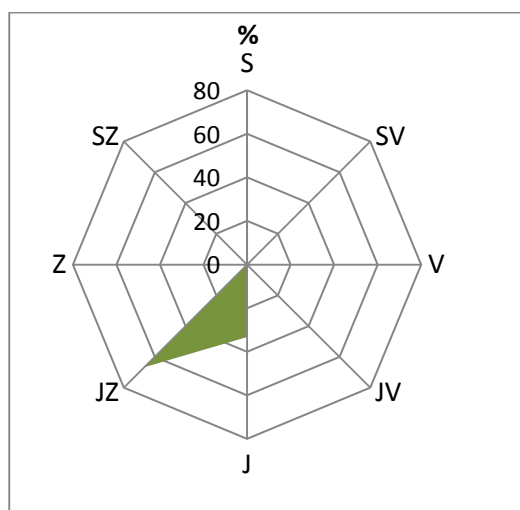
na studovanou lokalitu Čertovy louky popisuje Jeník (1961). Návětrným vodícím údolím je zde údolí Bílého Labe, které usměrňuje a urychluje západní proudění. Vítr stoupá až k náhorním plošinám s plochým reliéfem (Čertova louka, Bílá louka, Pláně pod Sněžkou), kde nabírá největší rychlost a přibližně u soutoku Bílého Labe a Stříbrné bystřiny se vítr rozděluje do čtyř větví. Nejmohutnější proud směřuje nad Bílou louku a Úpské rašeliniště jihovýchodním směrem. Další proud se stáčí severovýchodním směrem k Čertově louce, kde se spojuje se západním větrem vanoucím přes Stříbrný hřeben, a pokračuje nad kary Wielki a Malý Staw. Poslední větev se stáčí na masiv Luční a Studniční hory. Ve všech těchto směrech vítr spadá do karů, kde vytváří významné závětrné turbulence (Jeník 1961).

Obr. č. 9: Směry větru nad Stříbrným hřebtem



Zdroj: Šindelářová (2003)

Graf č. 3: Převládající směr větru na meteorologické stanici Luční bouda



Poznámka: hodnoty za období únor 2009 – červenec 2012

3.5 Půdy a Vegetace

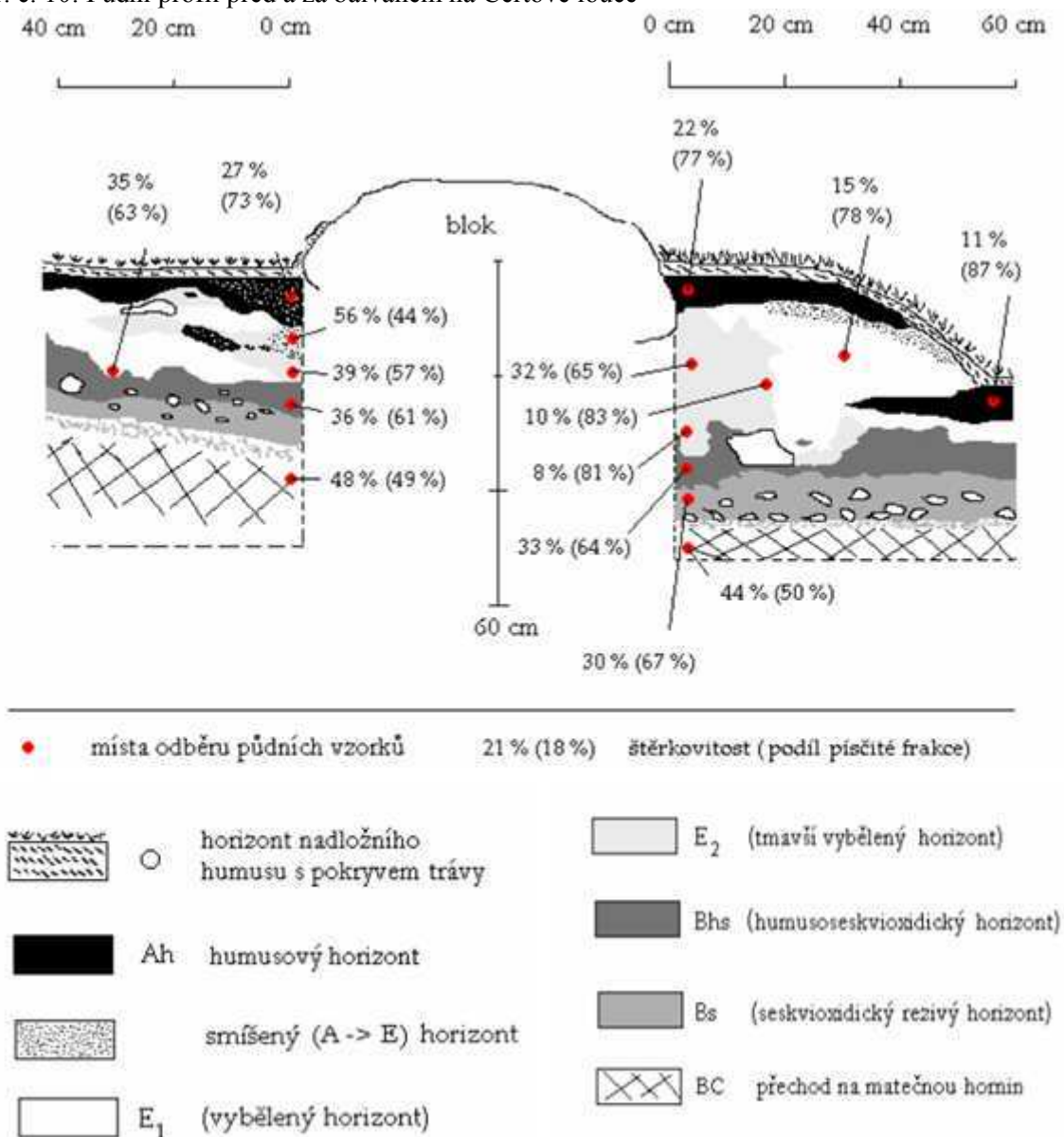
Půdy

V oblasti Čertovy louky je půdotvorným substrátem drobnozrnná biotitická žula a charakteristickým půdním profilem je zde podzol. Podzoly charakterizuje kyselé pH, malé množství lehce přístupných živin (Matějka et Málková 2010), i vysoký obsah humusu ve svrchních horizontech, který však do hloubky rychle ubývá (Pelíšek 1974). Půdy mají vyrovnaný, výrazně vlhkostní režim, se zvýšenými zásobami vody a znaky oglejení (Pelíšek 1974).

Na studované lokalitě je podle výzkumu Kadlečíka „humusoželezitý horský podzol s porušeným sledem humusového a vyběleného horizontu (Kadlečík 2007, s. 81).“ Na obr. č. 10 je

vidět podrobné schéma půdního profilu před a za balvanem na Čertově louce. Ostrůvky rašelinných půd se vyskytují v okolí prameniště Stříbrné bystriny, či v blízkosti bývalé Scharfovy boudy (1410 m n. m.), kde rašeliniště místy dosahují hloubky až 2,3 metrů (Šourek 1969). Tyto rašeliništní půdy jsou velice chudé na minerály a jsou charakteristické kyselou reakcí. Dále se vyznačují vysokým obsahem vody a vysokým obsahem humusu (Pelíšek 1974).

Obr. č. 10: Půdní profil před a za balvanem na Čertově louce



Zdroj: Kadlečík (2007)

Vegetace

Studovaná lokalita se nachází v pásmu kosodřevin nad alpínskou hranicí lesa (Sýkora 1983). Oblasti, kde se již nevyskytuje kosodřevina (např. oblast Stříbrného hřbetu), řadíme do

subalpínského vegetačního stupně. Tento stupeň je poměrně chudý na vegetaci a najdeme zde pouze některé trávy a lišejníky (Sýkora 1983).

V oblasti Čertovy louky a Stříbrného návrší výrazně převažuje smilka tuhá (*Nardus stricta*) (Jeník 1961). Dále zde můžeme nalézt například metličku křivolakou (*Deschampsia flexuosa*), tomku vonnou (*Anthoxanthum odoratum*), třtinu chloupkatou (*Calamagrostis villosa*) a na sušších místech pak ostřici bigelowovu (*Carex bigelowii*) (Sekyra et al. 2001). V okolí plovoucích balvanů se také vyskytuje brusnice borůvka (*Vaccinium myrtillus*) a brusnice brusinka (*Vaccinium vitis-idaea*). V nižších částech svahu Čertovy louky se hojně vyskytuje kosodřevina borovice horská (*Pinus mugo ssp. Pumilio*). Na vlhčích místech v oblastech rašelinišť můžeme nalézt ostřici mokřadní (*Carex limosa*) (Šourek 1969).

3.6 Charakteristika plovoucích balvanů na Čertově louce

Plovoucí balvany na Čertově louce podrobně studoval Kadlečík (2007). U celkem 160 sledovaných balvanů zaznamenal rozměry a orientaci balvanu, charakteristiku a rozměry valu a deprese, vegetaci na balvanu i v okolí a sklon a tvar svahu, na němž jednotlivé balvany leží. U všech těchto aspektů Kadlečík (2007) také zkoumal možné vzájemné závislosti.

Ve vzorku 160 studovaných balvanů má 65 % balvanů vyvinutý val i depresi za balvanem a většina (70 %) balvanů jsou zčásti zarostlé vegetací. Rozměr delší osy balvanu se pohyboval od 36 do 216 cm, nejčastěji (92 balvanů ze 160) byla délka delší osy v rozmezí 50–100 cm. Délka kratší osy byla naměřena od 27 do 147 cm. Pouze 14 balvanů však mělo oba rozměry delší než 1 m. Odchylka delší osy od směru spádnice je v 53 % do 5°. Do 20° od směru spádnice je orientováno až 71 % balvanů, což naznačuje natáčení balvanů ve směru nejmenšího odporu (Ballantyne 2001). Celý soubor balvanů leží na svahu o sklonu 5 – 26°, více než polovina balvanů se však vyskytuje na svahu o sklonu od 11 do 15° (Kadlečík 2007). Korelační vztahy ukázaly závislost výšky balvanu nad terénem a velikostí balvanu.

Typickými morfologickými znaky pro plovoucí balvany jsou val a deprese. Val u balvanů na Čertově louce je v průměru 26 cm vysoký, nejvyšší val dosahuje výšky až 74 cm. Val můžeme rozdělit do 3 typů: čelní (nahrnutý materiál se vyskytuje pouze před balvanem), čelní-boční (nahrnutý materiál je nejen před balvanem, ale i po jeho stranách, maximálně zasahuje do poloviny jeho délky) a čelní-boční protáhlý (nahrnutý materiál vede po stranách balvanu až k jeho zadní části). Nejčastějším typem valu na Čertově louce, je čelní-boční val.

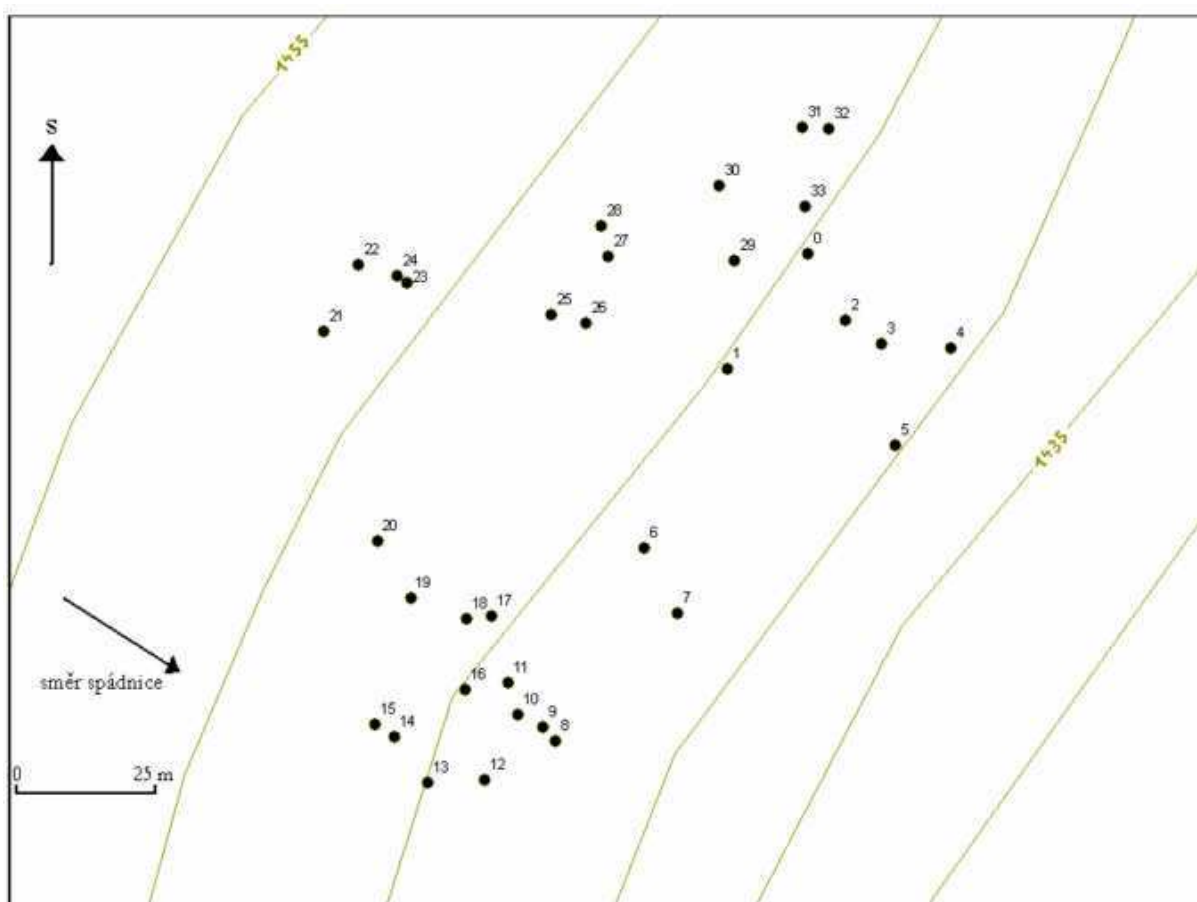
Deprese za balvanem byla zaznamenána u 142 balvanů s celkových 160 studovaných. Průměrná délka deprese činí 118 cm, u 5 balvanů byla naměřena délka deprese přes 4 metry. Hloubka nejvíce zahloubených depresí byla přes 30 cm. Deprese na Čertově louce můžeme rozdělit do 4 typů: výklenek, široká rýha, typická rýha a žlábek. Nejčastějším typem deprese na Čertově louce je výklenek. Výklenek je stejně široký nebo užší než je šířka balvanu a jeho délka často nepřevyšuje délku podélné osy balvanu. Široké rýhy, jak již název napovídá, jsou široké zhruba jako šířka balvanu. Vyskytují se převážně za rozměrově většími balvany a délka rýh většinou převyšuje délku osy balvanu. Typické rýhy jsou jen několik decimetrů široké a směrem proti svahu se většinou zužují do protáhlého tvaru. Délka deprese několikanásobně převyšuje šířku rýhy. Deprese typu žlábek kopíruje tvar zadní části balvanu. Šířka rýhy několikanásobně převyšuje její délku. Dalšími mikrotvary vyskytující se na Čertově louce jsou jamky a trhliny. Jamka je mělká sníženina, která se vyskytuje mezi balvanem a depresí. Může se jednat o místo nejčerstvějšího posunu, ale taky o deformaci povrchu mrznoucím ledem. Jamky byly nalezeny celkem u 47 balvanů. Trhlina těsně přiléhá k balvanu, na rozdíl od jamky, hloubka trhliny několikanásobně převyšuje její šířku (tj. vzdálenost od balvanu ve směru spádnice). Trhlina byla zaznamenána celkem u 19 balvanů. Podrobné charakteristiky jednotlivých 33 balvanů, u kterých byla zaměřována poloha, jsou zobrazeny v příloze č. 1.

Korelační analýzy naměřených charakteristik ukázaly pozitivní vztahy mezi rozměry balvanu a rozměry valu i deprese. Vztah sklonu svahu nebyl nalezen k žádné z měřených charakteristik. Nepřímé závislosti byly zjištěny mezi vegetací (podíl zarostlosti balvanu) a rozměry balvanu, valu i deprese. Což znamená nárůst vegetačního pokryvu na balvanech menších rozměrů s méně vyvinutými mikrotvary. Pokud se balvan pohybuje menší rychlostí, vytváří tak menší mikrotvary (val, deprese) a je tak snadněji přístupný k zarůstání vegetací. Soubor 33 balvanů vybraných pro zaměřování polohy je jen velmi málo porostlý vegetací.

4. METODIKA PRÁCE

Tato práce navazuje na výzkum plovoucích balvanů Kadlečíka (2007) na Čertově louce v letech 2004 – 2007. Pro možnost porovnání výsledků byl vybrán stejný vzorek 33 plovoucích balvanů, který použil ve své práci Kadlečík (2007). Schématický přehled rozmístění balvanů je znázorněn na obr. č. 11. Do vzorku balvanů určených k zaměřování byly vybrány balvany nezarostlé, jejichž morfologické znaky (val, deprese) mohou naznačovat recentní aktivitu balvanu (Kadlečík 2007). Charakteristika těchto balvanů je podrobněji popsána v kapitole 3.7.

Obr. č. 11: Schéma rozmístění balvanů na Čertově louce



Poznámka: Bod č. 0 je výchozí bod měření; čísla ostatních bodů odpovídají číslům balvanů

Zdroj: Kadlečík 2007

Základem terénního měření bylo měření polohy a objemu balvanů, které byly užity pro korelační analýzy hmotnosti balvanů s rychlostí pohybu. Jako doplňková metoda je zde uvedena analýza podpovrchových teplot zvětralinového pláště.

4.1 Zaměřování výchozího bodu

Pro možnost porovnání výsledků byl použit stejný výchozí bod jako v práci Kadlečíka (2005). Jedná se o žulový balvan, do kterého byl v roce 2005 zabetonován kovový hrot se závitem pro uchycení totální stanice.

Pro ověření stability balvanu proběhlo v roce 2012 zaměření výchozího bodu (bod č. 0) pro porovnání se zaměřováním, které proběhlo v roce 2005 (Kadlečík 2007). Zaměřování bylo provedeno geodetickým přístrojem Leica TCR 705 (dále v textu „totální stanice“). Jako počáteční bod pro zaměření výchozího bodu (bod č. 0) byl zvolen trigonometrický bod č. 7, Luční boudy sz. Na pevné stanovisko nad bod č. 7 byl usazen stativ s totální stanicí a byla provedena horizontace a centrace přístroje. Pro zorientování přístroje byl použit trigonometrický bod č. 12 Sněžka a zhušťovací bod č. 202, Památník obětem hor a následně byl zaměřen na odrazný hranol výchozí bod č. 0. Poté byla totální stanice přesunuta nad bod č. 0. Po horizontaci a centraci totální stanice byl zpětně zaměřen trigonometrický bod č. 7.

4.2 Terénní měření

Pohyb balvanů byl zaznamenáván od září 2008 do června 2012. Bylo zaměřováno celkem 33 balvanů, které měly nejlepší předpoklady k recentnímu pohybu. Jak je vidět v tabulce č. 1, měření probíhala dvakrát za rok, vždy v červnu či červenci po roztátí akumulací sněhu a v září či říjnu. V roce 2008, 2009 a 2012 proběhlo měření i podle metodiky Kadlečíka (2005). V roce 2010 se uskutečnilo zaměřování pro výpočet objemů balvanů.

Tab. č. 1: Přehled terénních měření

Rok měření	letní měření	podzimní měření
2008		27. 9. 2008*
2009	10. 6. 2009*	31. 10. 2009
2010	8. 6. 2010	5. 10. 2010
2011	29. 6. 2011**	20. 10. 2011
2012	11. 7. 2012*	

* současně proběhlo měření laserovým paprskem

** současně proběhlo měření objemů balvanů

4.2.1 Měření polohy balvanů

Totální stanice byla usazena na výchozí bod č. 0 a pro měření vzdáleností a směrových úhlů jednotlivých balvanů od výchozího bodu byl použit odrazný hranol. Na každém z vybraných balvanů byl zabetonován kovový hrot (obr. č. 12), na níž se usadil odrazový hranol (obr. č. 13) a byla změřena vzdálenost, svislý úhel a vodorovný směr od stanoviště výchozího bodu, pro každý vybraný balvan.

Obr. č. 12: Ocelový výběžek na balvanu č. 1



Obr. č. 13: Odrazný hranol na balvanu č. 1



4.2.2 Výpočet objemu balvanů

V rámci terénních měření byl kromě pohybu balvanů měřen a vypočítáván i jejich objem, hmotnost a hloubka zanoření. Vzhledem k neznámému tvaru balvanu pod zemí, může být výpočet objemu balvanu pod povrchem zatížen větší chybou, než je tomu u výpočtu objemu nad povrchem a může být mírně nadhodnocen.

Zaměřování pro výpočet objemu balvanů se uskutečnilo v roce 2010. Zaměření probíhalo na odrazový hranol umístěný na výtyčce. Postupným umísťováním výtyčky na významné zlomové hrany balvanu se získala prostorová síť bodů na povrchu balvanu, z kterých bylo možno vypočítat objem. Pro upřesnění výpočtu hmotnosti balvanu, byl k vypočítaným hodnotám připočítán přibližný údaj o objemu balvanu pod zemí. K měření zanoření balvanu byla použita lavinová sonda a sklonoměr. Lavinová sonda byla zanořena do půdy až na bázi balvanu a z rysky na sondě se odečetla délka sondy pod zemí. Pomocí sklonoměru byl změřen úhel, pod kterým byla lavinová sonda zanořena do půdy. Z těchto dvou

údajů byla vypočítána hloubka zanoření balvanu. Tento proces byl opakován z několika stran balvanu. Z výsledných hodnot bylo vypočítáno průměrné zanoření balvanu a následně objem balvanu pod zemí.

4.3 Vyhodnocování dat

Data o pohybu balvanů byla zpracována v programu MS OFFICE 2010. Posun balvanů je interpretován pomocí relativních změn horizontální a vertikální složky pohybu za období červen 2009 až červenec 2012. Vzhledem k tomu, že poslední měření bylo provedeno v červenci roku 2012, byla pro doplňkové hodnocení meziročních změn využita červnová (červencová) měření. Vzhledem k nepravidelným změnám rychlostí i směrů pohybu u meziročních posunů nejsou změny mezi letním a podzimním měřením hodnoceny pro jednotlivé balvany. Vertikální i horizontální složka pohybu byla následně korelována s hmotností balvanů a zjišťováno bylo také ovlivnění pohybu sněhovou pokrývkou. Pro korelaci pohybu balvanů s mocností sněhové pokrývky byly využity výsledky výzkumu sněhové pokrývky na Čertově louce v zimním období 2008/2009 (Horáčková 2009). Míra lineárních závislostí veličin byla hodnocena pomocí Pearsonova korelačního koeficientu na hladině významnosti $p < 0,05$.

Pro hodnocení posunů za období 2005 – 2012 byla využita data z předcházejícího měření od Kadlečíka (2007). Vzhledem k rozdílné metodice bylo nutné data přepočítat. Pro možnost přepočtu souřadnic bylo v roce 2008, 2009 a 2012 (viz tab. č. 5) měření prováděno podle metodiky Kadlečíka (laserem na terčíky na kamenech) i podle metodiky této práce (na odrazné hranoly). Souřadnice byly přepočítány podle zjištěných průměrných rozdílů.

Objemy balvanů byly spočítány na základě naměřených dat v programu MATLAB (verze 7.12.0). Pro výpočet hmotnosti balvanů byla použita průměrná mineralogická hustota drobnozrnité žuly $2,645 \text{ g/cm}^3$, která se vzhledem k velmi nízké porositě blíží přirozené hustotě horniny (Chaloupský 1989).

4.4 Měření půdních teplot

Důvodem pro měření teplotního režimu půd na studované lokalitě bylo stanovení regulačních cyklů v půdě. S regulací je spjata řada pochodů (vznik segregálního ledu, mrazové vzdouvání), které hrají důležitou roli při posunu balvanu po svahu. Pro získání půdních teplot

byl vybrán balvan č. 8, který leží v nivační depresi na výraznějším sklonu svahu (16°) a balvan č. 23, který v období 2004 – 2007 zaznamenal největší horizontální posun ze všech sledovaných balvanů (Kadlečík 2007). Oba balvany mají dobré předpoklady k recentnímu pohybu. Balvan č. 8 je 107 cm vysoký a jeho delší osa měří 182 cm. Do terénu je zanořen zhruba 25 cm a za balvanem se nachází výrazná 182 cm dlouhá brázda. Balvan leží na svahu nivační deprese o sklonu 16°. Balvan č. 23 leží zhruba 100 m severně od balvanu č. 8, na svahu o sklonu 10°. Délka podlouhlé osy je 140 cm a výška nad terénem 55 cm. Do půdy zasahuje zhruba 20 cm a brázda za balvanem dosahuje délky 298 cm.

Pod vybrané balvany byla 7. 10. 2010 umístěna dvě teplotní čidla s dataloggerem (Mikikin TT s chybou měření $\pm 0,2$ °C) (tab č. 2). Vyhodnocovaná teplotní řada končí posledním dnem měření, tj. 11. 7. 2012. Teploty byly zaznamenávány každou hodinu, z těchto hodnot teplot pak byly vypočítány průměrné denní a roční teploty.

Tab. č. 2: Umístění teplotních čidel v půdě

číslo balvanu		čidlo 1 – pod balvanem	čidlo 2 – mimo balvan
8	hloubka	20 cm	20 cm
	vzdálenost od okraje balvanu	20 cm pod balvan	75 cm mimo balvan
23	hloubka	45 cm	45 cm
	vzdálenost od okraje balvanu	10 cm pod balvan	45 cm mimo balvan

Regelační aktivita byla posouzena na základě počtu a délky regelačních cyklů. Intenzita a délka regelačních cyklů je závislá na mnoha faktorech (vlastnosti půdy, atmosférická teplota, mocnost sněhové pokrývky ad.), které ovlivňují teplotu, při které dochází ke změnám skupenství vody (sensu French 2007). Stanovení bodu mrazu pro vodu v přírodním prostředí však není jednotné. French (2007) uvádí, že hodnota 0 °C nemusí vždy značit začátek fázové přeměny. Podzemní voda či půdní vláhla často obsahují rozpuštěné soli, které bod mrazu snižují. Vzhledem k nízkému obsahu rozpuštěných solí, se však teplota mrznutí pohybuje blízko hranice 0 °C. Vzhledem k nominální přesnosti teplotních čidel a použitého intervalu měření byly pro vymezení regelačních cyklů použity přechod teploty přes bod mrazu 0 °C.

Definice používaných termínů

Termín „období 2009/2012“ používám v případě hodnocení změn posunu mezi měřením v roce 2009 a 2012. Pokud není uvedeno jinak, pro hodnocení jsou vždy použity data z měsíců červen a červenec.

Termín „období 2010/2011“ v hodnocení podpovrchových teplot znamená období od prvního poklesu teploty pod bod mrazu na podzim roku 2010 do trvalého vystoupení teploty do kladných hodnot v jarním období roku 2011.

5. VÝSLEDKY MĚŘENÍ PLOVOUCÍCH BALVANŮ

5.1 Hodnocení přesnosti měření polohy balvanů

Pro přesnější interpretaci dat vzhledem k možným chybám přístroje byla provedena analýza chyb přístroje pro jednotlivé balvany. Chyba přístroje pro dálkoměr totální stanice je uváděna $\pm 2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$. Chyba při měření úhlů může dosahovat hodnoty 1,5 mgon. V tabulce č. 3 jsou uvedeny maximální chyby přístroje pro jednotlivé balvany. Jedná se o součet chyby při měření vzdáleností s chybou pro měření úhlu. Vypočítané maximální možné chyby přístroje pro jednotlivé balvany byly zohledněny při interpretaci dat. Přesnost měření je podrobněji hodnocena v kapitole 6.1.

Tab. č. 3: Přehled maximálních chyb přístroje pro jednotlivé balvany

	vzdálenost od výchozího bodu (m)	možná chyba při měření úhlu (mm)	možná chyba při měření vzdáleností (mm)	celková možná chyba (mm)
1	25,92	0,6	2,1	4,2
2	14,37	0,3	2,0	2,4
3	21,81	0,5	2,0	2,6
4	32,10	0,8	2,1	2,8
5	38,75	0,9	2,1	3,0
6	61,10	1,4	2,1	3,6
7	70,35	1,7	2,1	3,8
8	100,23	2,4	2,2	4,6
9	98,55	2,3	2,2	4,5
10	99,34	2,3	2,2	4,5
11	95,45	2,2	2,2	4,4
12	112,74	2,7	2,2	4,9
13	119,00	2,8	2,2	5,0
14	115,97	2,7	2,2	5,0
15	116,54	2,7	2,2	5,0
16	101,41	2,4	2,2	4,6
17	91,12	2,1	2,2	4,3
18	87,66	2,1	2,2	4,2
19	96,08	2,3	2,2	4,5
20	94,73	2,2	2,2	4,4
21	89,95	2,1	2,2	4,3
22	83,11	2,0	2,2	4,1
23	74,16	1,7	2,1	3,9
24	75,97	1,8	2,2	3,9
25	48,66	1,1	2,1	3,2
26	42,72	1,0	2,1	3,1
27	37,19	0,9	2,1	3,0
28	38,78	0,9	2,1	3,0
29	13,63	0,3	2,0	2,3
30	20,81	0,5	2,0	2,5
31	23,56	0,6	2,0	2,6
32	23,34	0,5	2,0	2,6
33	9,09	0,2	2,0	2,2

5.2 Vertikální posun balvanů

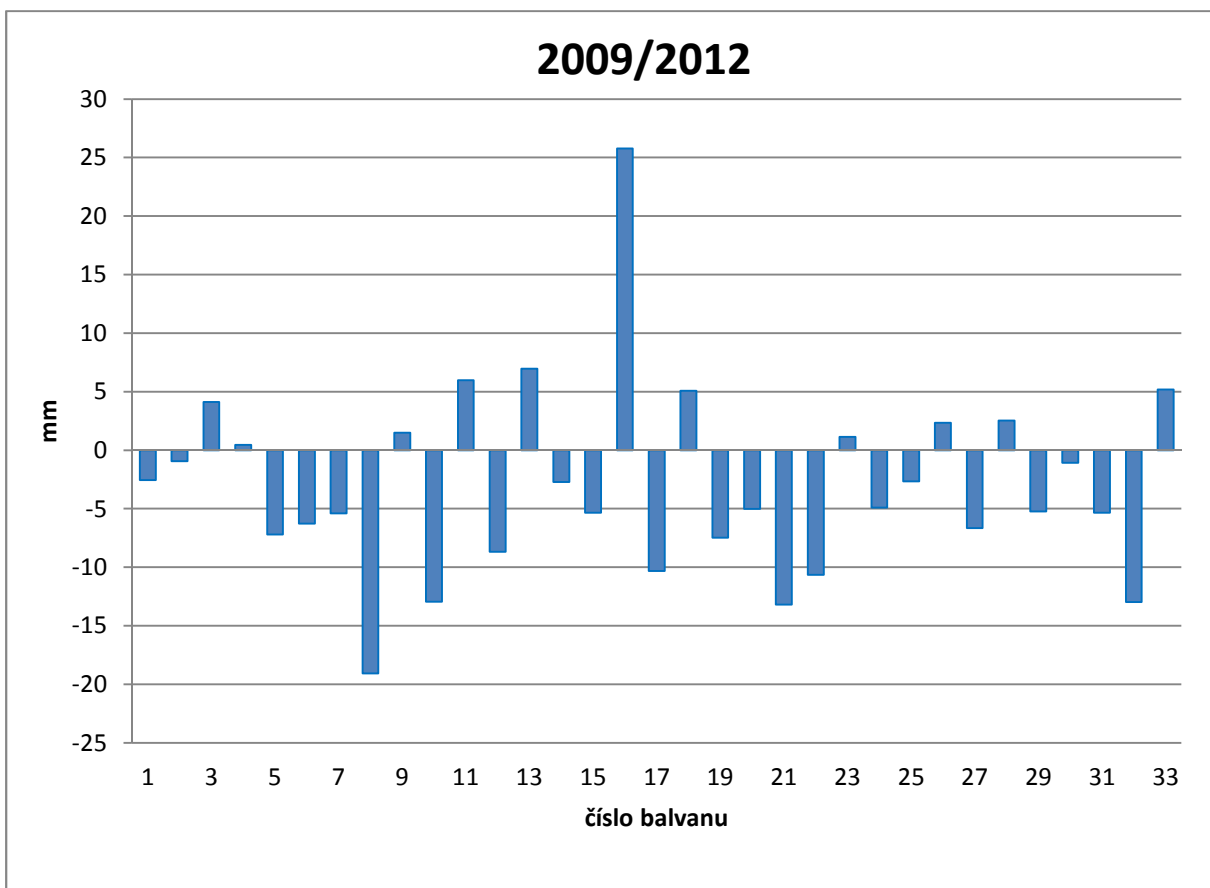
Vertikální posun balvanů je vyjádřen relativní změnou výšky od výchozího bodu. Vertikální změny byly interpretovány za celkové období 2009 – 2012 a dále v jednotlivých ročních intervalech. V roce 2010 nebyl zaměřen balvan č. 1, což se projevilo absencí změny polohy u bodu 1 v grafu č. 6 a 7.

Hodnoty změn posunů v období 2009 – 2012 se pohybují v rozmezí +26 mm až -19 mm (graf č. 4). Vzhledem k tomu, že ostatní hodnoty nevykazují tak výrazné kladné změny, může hodnota +26 mm naznačovat chybu měření. Kromě této extrémní hodnoty se ostatní změny pohybují spíše v záporné části grafu, značící předpokládaný pohyb po svahu. V tomto období zaznamenáváme celkový záporný posun u 23 balvanů (tedy u 70 % balvanů z celkových 33). Po vyřazení hodnot, které jsou menší než možná chyba přístroje (v období 2009/2012 se jedná celkem o 9 balvanů) se kladná změna vyskytuje u 7 balvanů (21 % všech balvanů) a záporná změna u 17 balvanů (52 % všech balvanů).

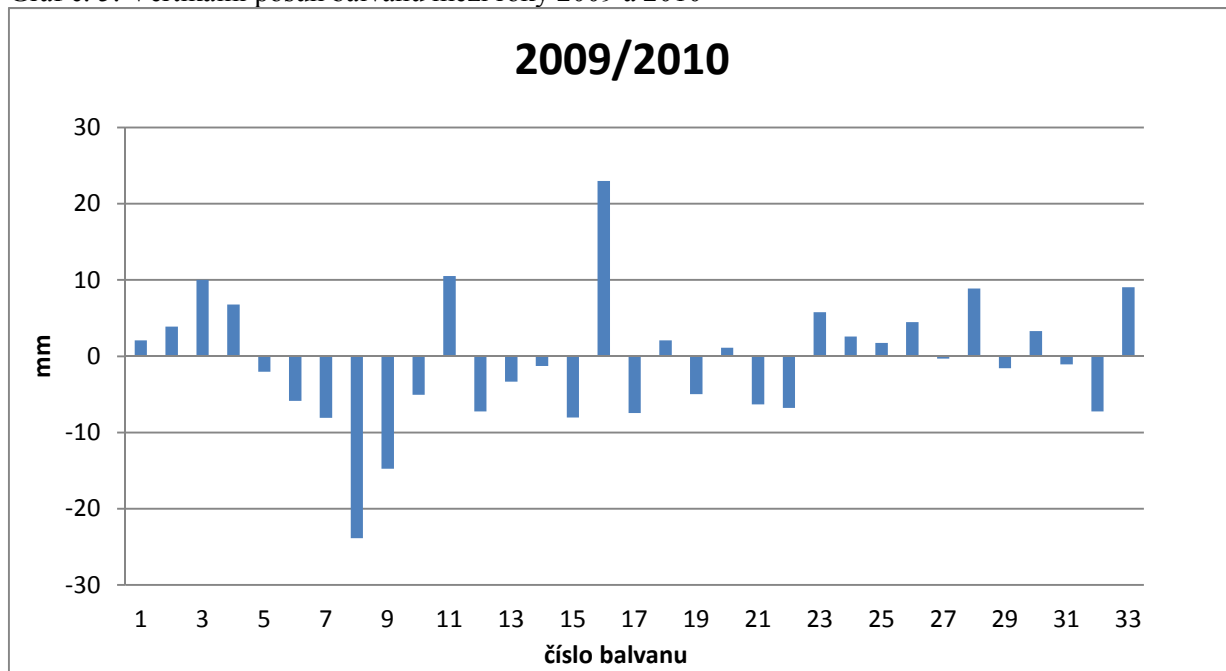
Kladné změny (tedy zdánlivé posuny proti svahu) mohou být způsobeny různými procesy v půdě, které jsou zapříčiněny nejčastěji fázovými změnami v půdě při intenzivní regulaci (např. mrazové vzdouvání). Nemusí se však jednat jen o posun balvanu proti svahu, ale také o změnu sklonu balvanu. Tedy v případě že se horní část balvanu (výše na svahu) zanoří do půdy, dolní část (ve směru po svahu) se tak dostane do vyšší výšky.

Hodnoty meziročních posunů se pohybují v rozmezí +23 mm až -24 mm. V období mezi roky 2009 a 2010 (graf č. 5) byl zaznamenán pokles relativní výšky jen u 18 balvanů, tedy u 55 % balvanů. Při pravidelném rozložení nárůstu hodnot, by se mohlo jednat o měřičskou chybu, například chybu horizontace, ale vzhledem k nepravidelnému rozložení hodnot se bude jednat spíše o nahodilou chybu měření či procesy fázové změny vody v půdě. Naopak v období mezi roky 2010 a 2011 (graf č. 6) se vyskytuje pokles u největšího počtu balvanů, celkem u 27 balvanů (84 %). Po odečtení hodnot v rámci chyby měření (viz kapitola 5.1) se jedná o 19 balvanů, které snížili svoji relativní výšku vůči výchozímu bodu. Poslední období mezi roky 2011 a 2012 (graf č. 7) se vyznačuje malou rozkolísaností hodnot. Hodnoty v rámci chyby měření (tab. č. 3), které jsou vyřazeny z dalšího zpracování, zaujímají 67 %. Kromě čtyř kladných změn v rozmezí 11 - 18 mm a jedné záporné (-8 mm), se všechny ostatní hodnoty změn pohybují do 5 mm.

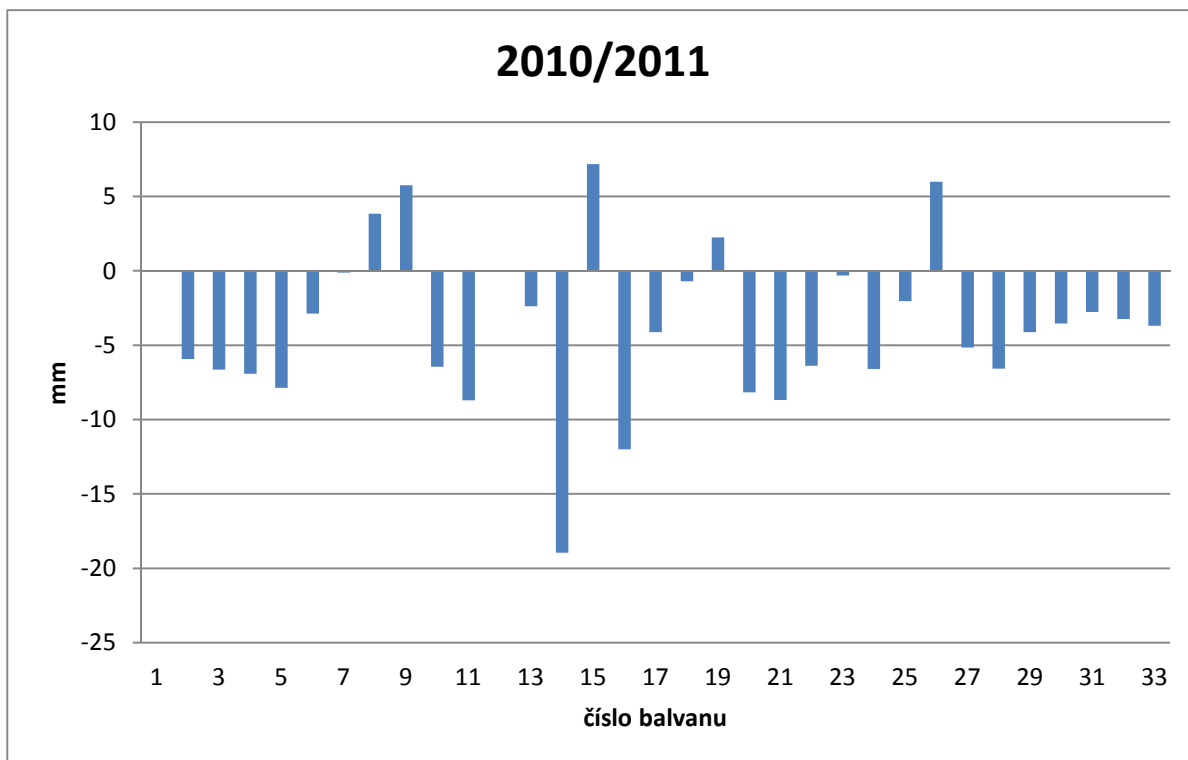
Graf. č. 4: Vertikální posun balvanů mezi roky 2009 a 2012



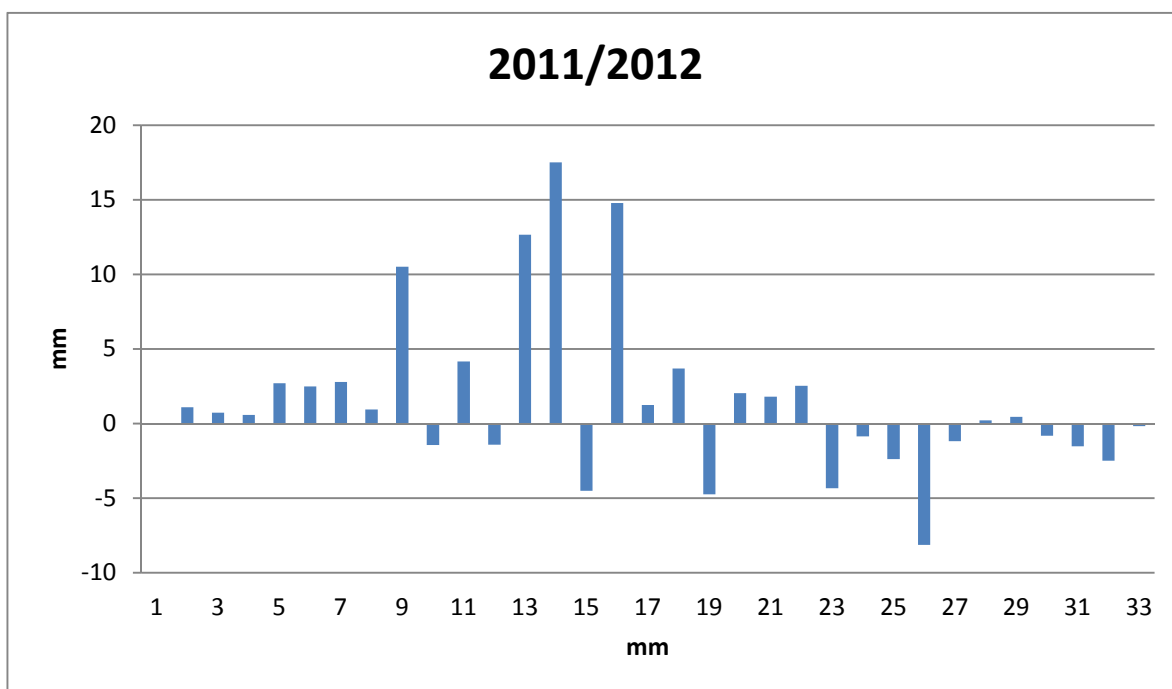
Graf č. 5: Vertikální posun balvanů mezi roky 2009 a 2010



Graf č.6: Vertikální posun balvanů mezi roky 2010 a 2011



Graf č. 7: Vertikální posun balvanů mezi roky 2011 a 2012



Nelze s určitostí vyloučit možnost pohybu výchozího bodu (viz kapitola 6.1). Pohyb výchozího bodu (konkrétně pokles) by se v grafu projevil nárůstem změny relativní výšky u všech balvanů. S ohledem na nepravidelnost vertikálních změn, geodetické zaměřování vý-

chozího bodu a morfologické charakteristiky nepodporující recentní pohyb, nebyl posun výchozího bodu po svahu potvrzen.

Celkovou rozkolísanost vertikálních změn můžeme zhodnotit v příloze č. 2: Vertikální změny polohy jednotlivých balvanů pro období 2009 – 2012. Pro každý jednotlivý balvan je zde zobrazena křivka vertikálních změn od roku 2009 do roku 2012. Výrazný posun je vidět např. na balvanu č. 8, který leží v nivační depresi, kde se sněhová pokrývka drží nejdéle. V tomto případě může mít dlouho ležící sněhová pokrývka výrazný vliv na procesy způsobující posun balvanu. Na výraznější amplitudu hodnot může mít také vliv sklon svahu. U balvanů č. 9, 10, a 11, které ze zaměřených balvanů leží na největším sklonu svahu (kolem 20°), je výraznější amplituda změn (kolem 12 mm).

V tabulce č. 4 je přehled průměrných posunů a maximálních hodnot pro soubor zaměřených balvanů mezi jednotlivými po sobě jdoucími měřeními. V případě období červen 2010 až říjen 2010 a říjen 2010 až červen 2011 jsou zde výrazné maximální i průměrné hodnoty, které vyznačují zcela opačný chod (převažující zdvih či pokles). Tyto hodnoty jsou způsobeny výraznější naměřenou změnou polohy v říjnu 2010 pro celý soubor hodnot. Vzhledem k tomu, že v ostatních měřeních tyto změny polohy (v průměru o 3 cm pro pokles či zdvih) nejsou potvrzeny, je možné že se jedná o některou z chyb měření uvedených v kapitole č. 6.1. V ostatních obdobích převažuje spíše zdvih balvanů, změny se však pohybují většinou v rozmezí několika milimetrů.

Tab. č. 4: Přehled vertikální změny polohy mezi jednotlivými po sobě jdoucími měřeními

Vertikální posuny	kladný posun (zdvih)			záporný posun (pokles)			průměrný celkový posun (mm)
	počet balvanů	průměrný posun (mm)	maximální hodnota	počet balvanů	průměrný posun (mm)	minimální hodnota	
září 2008 - červen 2009	19	8	24	13	-5	-19	3
červen 2009 - říjen 2009	16	7	21	16	-5	-16	1
říjen 2009 - červen 2010	24	6	28	9	-6	-15	3
červen 2010 - říjen 2010	19	29	67	10	-11	-20	15
říjen 2010 - červen 2011	9	8	19	19	-32	-50	-19
červen 2011 - říjen 2011	4	3	7	28	-4	-19	-3
říjen 2011 - červen 2012	29	5	17	4	-1,4	-2	4

5.3 Horizontální posun balvanů

Horizontální složka posunu balvanu ve sledovaném území je vyjádřena vzdáleností, o kterou se balvan posunul, a směrem posunu vyjádřeným v úhlech, kde 0° (360°) je směr spádnice. Za směr posunu po svahu je považován úhel $\pm 90^\circ$ od spádnice (tj. $0 - 90^\circ$ a $270^\circ - 360^\circ$), tyto hodnoty v tabulce č. 5 jsou podbarveny modře. Směry proti svahu tedy značí úhly mezi $90^\circ - 270^\circ$, v tabulce č. 5 jsou podbarveny červeně.

Hodnoty za období 2009/2012 se pohybují od 2 mm do 36 mm. Po odečtení maximální možné chyby měření dostaneme celkem 28 hodnot, z toho 25 se vyskytuje v rozmezí 4 – 10 mm a 3 hodnoty dokonce přesahují hranici 10 mm. Všem balvanům s těmito hodnotami přes 10 mm (balvan č. 8, 10 a 16) odpovídá směr vektoru posunu po spádnici (tab. č. 4). Z 28 balvanů se celkem 17 balvanů pohybuje ve směru po svahu dolů. Jak je vidět na obr. č. 14, během tohoto tříletého období má většina balvanů tendenci posunovat se ve směru doprava od spádnice.

Po vyřazení hodnot spadajících do intervalu chyby měření (viz kapitola 5.1), vznikne soubor 25 balvanů pro období 2009/2010 a 27 balvanů pro období 2011/2012. Rozložení hodnot v těchto dvou obdobích je přibližně stejné i v oblasti maximálních hodnot posunů. V období 2009/2010 je maximální posun (12 mm) i počet balvanů přesahující vzdálenost 10 mm (2 balvany) o něco menší než u období 2011/2012, kde je maximální posun 14 mm a počet balvanů nad 10 mm je 5. Naopak období 2010/2011 se vyznačuje velice malým rozsahem hodnot posunu. Mimo možnou chybu přístroje se tak dostává pouze 16 balvanů, z toho pouze jeden vykazuje pohyb nad 10 mm (balvan č. 9).

Podobná četnost směrů jako pro celkové období 2009/2012 (vpravo od spádnice) je znázorněna i v prvním období 2009/2010. V období druhém 2010/2011, jsou vektory soustředěny převážně do směru proti spádnici (10 balvanů) či přímo po spádnici nebo v mírném úhlu od spádnice (13 balvanů). Podobné rozložení směrů je charakteristické i pro období 2011/2012, kde směr vektoru proti svahu má 9 balvanů a směr po svahu dokonce 17 balvanů.

Tab. č. 5: Horizontální posuny balvanů

	2009/2010		2010/2011		2011/2012		2009/2012		
	posun balvanu (mm)	směr posunu (°)	posun balvanu (mm)	směr posunu (°)	posun balvanu (mm)	směr posunu (°)	posun balvanu (mm)	směr posunu (°)	max. chyba přístroje
1	4	297	-	-	-	-	4	298	4,2
2	2	295	3	16	5	211	3	263	2,4
3	4	216	2	0	2	241	5	241	2,6
4	3	291	2	329	5	227	7	267	2,8
5	2	203	2	25	5	274	5	274	3,0
6	5	332	1	73	1	257	5	334	3,6
7	7	192	3	165	11	343	4	284	3,8
8	5	342	4	352	7	327	17	338	4,6
9	9	195	11	4	4	310	7	322	4,5
10	2	325	-	-	-	-	36	347	4,5
11	6	210	2	153	8	351	3	284	4,4
12	7	195	2	177	14	355	6	335	4,9
13	5	206	7	181	11	359	2	267	5,0
14	8	201	3	186	7	4	4	221	5,0
15	10	194	3	8	1	244	7	204	5,0
16	11	71	5	194	11	5	13	49	4,6
17	4	240	6	186	8	9	3	262	4,3
18	7	351	1	188	2	18	8	357	4,2
19	3	334	7	194	12	11	8	355	4,5
20	7	229	7	201	9	22	5	235	4,4
21	3	263	4	239	10	57	3	28	4,3
22	4	318	6	201	10	42	6	22	4,1
23	8	238	6	252	9	59	5	252	3,9
24	8	263	4	246	10	60	4	309	3,9
25	6	264	2	345	2	89	5	291	3,2
26	12	228	5	26	4	188	10	222	3,1
27	8	265	5	260	4	88	8	261	3,0
28	8	272	2	314	4	140	7	261	3,0
29	3	301	1	331	4	178	3	247	2,3
30	7	291	2	311	4	161	6	265	2,5
31	5	335	2	323	5	173	3	297	2,6
32	5	345	3	314	5	176	4	302	2,6
33	6	349	3	300	6	171	4	307	2,2

Vysvětlivky: H – horizontální vzdálenost v milimetrech

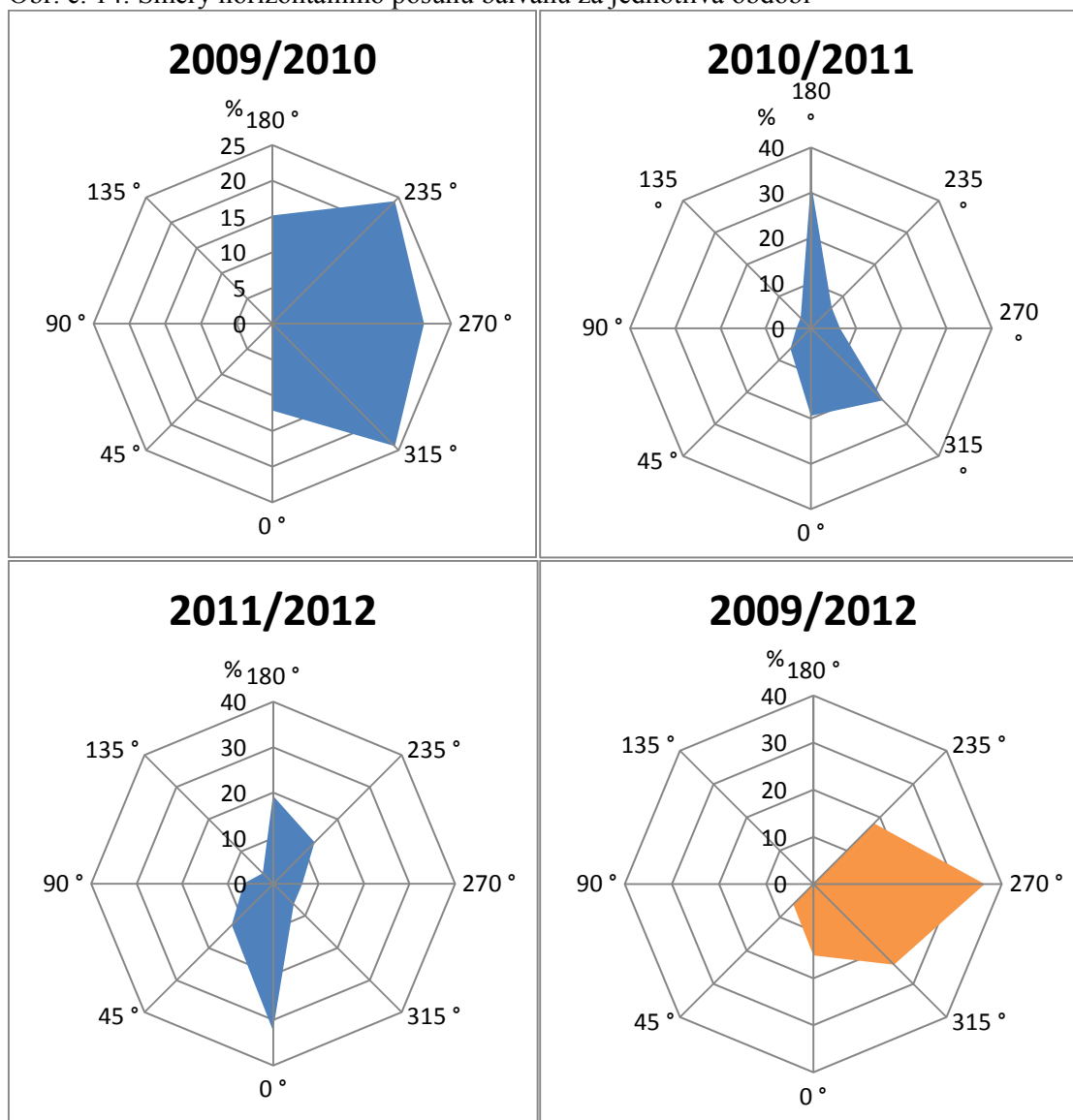
spojovník – pro jedno ze dvou let chybí měření

Podbarvení: modré – posun po svahu; červené – posun proti svahu; oranžové – posun v rámci chyby měření

Pro jednotlivé balvany jsou v příloze č. 3 vyznačeny horizontální křivky posunu v období 2009/2012. Velká amplituda horizontálních posunů se vyskytuje u balvanů č. 9, 12, 13, 24 a 27. U balvanů č. 9, 12, 13 se jedná o vychýlení proti směru spádnice. Tyto balvany se vyskytují na největším sklonu svahu kolem 20°. Výraznější posun po svahu, stejně jako ve vertikální složce posunu (viz kap. 5.2), je znázorněn u balvanů č. 8 a 10, které leží v oblasti s největší mocností sněhové pokrývky.

Stejně jako u vertikálních změn polohy se vyskytují v období červen 2010 až říjen 2010 a říjen 2010 až červen 2011 výrazné maximální i průměrné hodnoty, které jsou způsobené výraznější naměřenou změnou polohy v říjnu 2010. Tato změna polohy může naznačovat některou z chyb měření (viz kapitola 6.1). Rychlosti změny polohy se vyskytují nepravidelně (tab. č. 6). Nelze říci, že by se v některém z typu období jaro – podzim či podzim – jaro vyskytovaly výraznější posuny.

Obr. č. 14: Směry horizontálního posunu balvanů za jednotlivá období



Tab. č. 6: Horizontální změna polohy mezi jednotlivými měřeními

Horizontální posuny	směr posunu proti svahu (90 – 270°)			směr posunu po svahu (0 – 90°; 270 – 360°)			průměrný celkový posun (mm)
	počet balvanů	průměrný posun (mm)	maximální hodnota	počet balvanů	průměrný posun (mm)	maximální hodnota	
září 2008 - červen 2009	17	4	7	15	10	20	7
červen 2009 - říjen 2009	21	9	24	11	3	4	7
říjen 2009 - červen 2010	6	4	9	27	5	18	5
červen 2010 - říjen 2010	28	16	28	5	14	58	15
říjen 2010 - červen 2011	2	31	59	25	13	30	15
červen 2011 - říjen 2011	14	3	9	17	4	13	3
říjen 2011 - červen 2012	12	4	6	21	10	18	8

5.4 Posun balvanů v období 2005 - 2012

V rámci prodloužení časové řady a potvrzení tendence posunu balvanů v období 2009–2012, byla do výsledků práce zařazena kapitola hodnocení posunu balvanů mezi roky 2005 a 2012. Zdrojová data pro rok 2005 byla získána z práce Kadlečíka (2007). Ze souboru 33 balvanů byly vyřazeny balvany č. 14 a 24, pro které vykazují data z roku 2005 chybu měření. V rámci horizontální i vertikální složky jsou celkové hodnoty posunu balvanů velice rozkolísané. Vzdálenosti horizontálního posunu se pohybují od 2 do 72 mm, přičemž horizontální posun více než 50 mm zaznamenáváme u 6 balvanů, což je 19 % z celkového počtu 31 zaměřených balvanů. Směry posunu jsou pravidelně rozloženy do všech 4 kvadrantů (obr. č. 15). Ve směru po svahu se podle dat pohybuje celkem 15 balvanů a ve směru proti svahu 16 balvanů. Největší horizontální posuny jsou jak ve směru po svahu (balvany č. 9 a 10 se pohybují ve směru 41° a 66° od spádnice), tak i ve směru proti svahu (balvany č. 12, 15, 18, 30) (tab. č. 7). Období 2005/2012 naznačuje pohyb do třech různých směrů. Nejvíce balvanů však směřovalo vlevo od spádnice. Změny mezi lety 2005 a 2012 se jeví značně nejednoznačně a naznačují možnou nepřesnost měření.

Omezenou přesnost měření rovněž potvrzuje změna vertikální polohy balvanů (graf č. 8). Pouze 4 balvany z 31 zaměřených vykazují pokles, tyto hodnoty se však pohybují v rozmezí (-1 mm až -4 mm, tedy v rámci chyby měření. Zdvih balvanů ve vertikálním směru vykazuje vyšší hodnoty, než je tomu u pohybu mezi lety 2009 a 2012. Pro období 2005 až 2012 je hranice 10 mm překročena čtrnácti balvany, z toho 6 balvanů překračuje hranici kladného posunu 30 mm. Takto vysoká čísla jsou z hlediska procesů v půdě, morfologickým znakům okolí balvanů i dílčím výsledkům měření Kadlečíka (2007) mezi lety 2005 a 2007 nepravděpodobná. Kadlečík (2007) za celkové období 2005 – 2007 nezjistil žádnou kladnou vertikální změnu větší než 10 mm. Možným vysvětlením zdvihu balvanů je změna polohy trnu, na který se usazuje odrazný hranol. V důsledku naklonění balvanu se trn mohl dostat do vyšší výšky, aniž by byl celý balvan vyzdvižen.

Změny v období 2005 – 2012 mohou poukazovat na možnou nepřesnost měření. Na nepřesnosti měření se může podílet několik faktorů. Jedním z nich je chyba přístroje či chyba v zaměřování dat, které jsou podrobněji rozebrány v kapitole 6.1.

Tab. č. 7: Změny polohy balvanů mezi roky 2005 a 2012

číslo bodu	vertikální posun [mm]	horizontální posun [mm]	směr horizont. posunu [°]
1	4	2	90
2	2	2	328
3	11	3	274
4	8	6	287
5	-2	17	22
6	20	9	81
7	7	7	295
8	10	9	38
9	16	31	66
10	12	56	41
11	8	11	254
12	21	36	103
13	73	8	164
14	-	115613*	96*
15	35	38	200
16	32	2	187
17	21	7	68
18	25	72	97
19	21	18	101
20	12	8	184
21	13	12	316
22	7	5	145
23	2	13	295
24	-	75923*	142*
25	5	12	313
26	6	16	148
27	1	10	239
28	0	9	158
29	-1	4	144
30	1	32	189
31	-4	4	69
32	-4	6	239
33	0	4	226

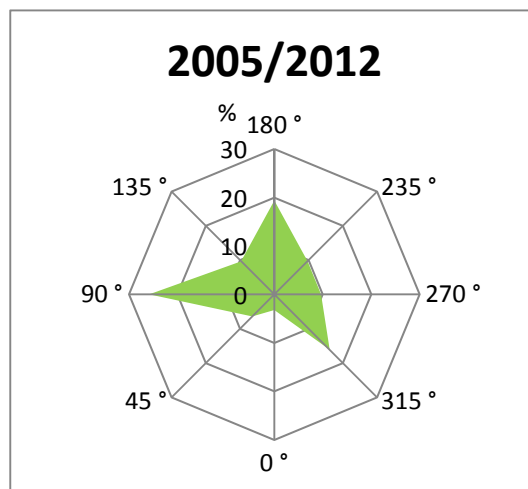
Poznámka: směr spádnice 0°

* chybné měření

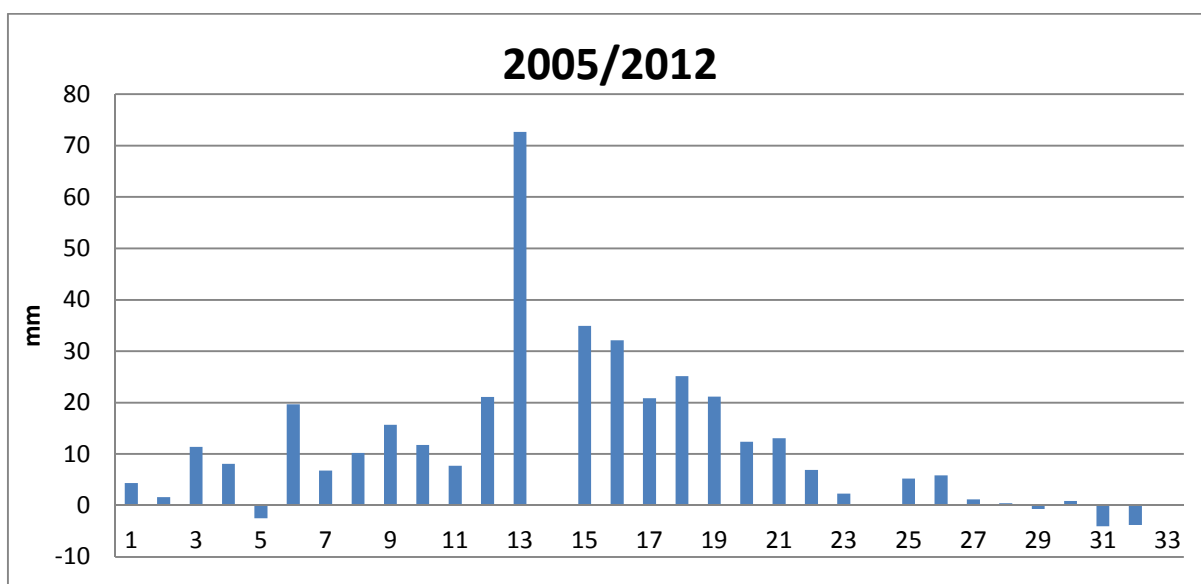
Barevný výplň: modrá barva – posun po svahu (0 – 90°; 270 – 360°)

červená barva – posun proti svahu (90 – 270°)

Obr. č. 15: Směry horizontálních posunů balvanů za období 2005/2012



Graf. č. 8: Změna relativní výšky vůči výchozímu bodu mezi roky 2005 a 2012



* Prázdné místo u balvanu 14 a 24 znamená, že hodnota nebyla v jednom ze dvou let zaměřena

V případě posunu výchozího bodu po svahu by se jednalo o nárůst relativních změn směrem nahoru u všech balvanů, což naznačují i změny vertikální polohy v grafu č. 8. Tomuto vysvětlení však nenasvědčují morfologické charakteristiky v okolí balvanu, ani geodetické zaměřování výchozího bodu, které posun balvanu po svahu nepotvrdilo. Charakter hodnot naznačuje, že čím jsou balvany více vzdáleny od výchozího bodu, tím mají vyšší změnu vertikální vzdálenosti. Tato vlastnost je potvrzena korelačním koeficientem 0,7, který značí velmi těsnou závislost mezi změnou polohy ve vertikálním směru a měřenou vzdáleností balvanu. Závěrem lze říci, že tyto konkrétní data s rozdílnou metodikou a rozdílnou přesností měření není možné, i přes důkladný přepočítání souřadnic porovnávat.

5.5 Charakteristiky podpovrchových teplot

Průměrná roční teplota vzduchu z dat naměřených od počátku měření na meteorologické stanici Luční bouda (19. 1. 2009) je 2 °C. Nejchladnějším měsícem v roce je únor s průměrnou měsíční teplotou vzduchu -7° C a nejteplejším měsícem je srpen s průměrnou měsíční teplotou 11 °C. Délka období se zápornou teplotou vzduchu trvá obvykle od listopadu do března (tab. č. 10).

Minimální teploty v půdě ve většině případů nepřekročily hodnotu -1 °C, za kalendářní rok většinou neproběhly více než 2 regelační cykly. Chod teplot u balvanu č. 23 se vyznačuje nevýraznými rozdíly mezi čidly pod balvanem a vedle balvanu. Teplota většinou

neklesla pod bod mrazu, pouze v jarních měsících se teplota přiblížila hodnotě $-0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (tab. č. 9). Za celé zimní období 2010/2011 dokonce teplota v půdě vedle balvanu pod bod mrazu neklesla (graf č. 9). Tento vyrovnaný chod teplot může být způsoben větší hloubkou čidel, než je tomu u balvanu č. 8.

Větší rozdíly půdních teplot byly zaznamenány u balvanu č. 8. První přechod bodu mrazu nastává pod balvanem o 13 dní dříve, než je tomu v půdě vedle balvanu (tab. č. 8). Chod teplot pod balvanem se vyznačuje většími extrémními teplotami, po celé hodnocené období se teplota drží pod $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a přechod nad $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ nastává až 11. 5. 2012. Naopak chod teplot v půdě vedle balvanu se vyznačuje mírnějšími extrémními teplotami a častějšími regulačními cykly. V období od prosince 2010 do května 2011 se v půdě vedle balvanu č. 8 vyskytují celkem 3 regulační cykly. V tomto období vystoupala teplota nad $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ pouze v průběhu prosince a poté až 18. 5. 2011. Po zbytek zimního období se teplota držela mírně nad bodem mrazu. V zimním období 2011/2012 teplota klesla pod bod mrazu až na konci března (v půdě vedle balvanu) a na konci dubna (pod balvanem) (graf č. 10). Záporné hodnoty vydržely až do počátku června, i přes to že průměrná teplota vzduchu i teploty půdy pod balvanem č. 23 dosahovaly od dubna kladných průměrných hodnot (tab. č. 10). Tento chod teplot může naznačovat vliv sněhové pokrývky na snižování půdních teplotních extrémů. Bod č. 8 se na rozdíl od bodu č. 23, nalézá v nivační depresi, kde sněhová pokrývky roztává většinou až v průběhu června.

Rozdílný chod teplot pod balvanem a v půdě mimo něj (viz graf č. 9) potvrzuje nestejnou teplotní vodivost balvanu a půdy. Větší teplotní vodivost balvanu může mít vliv na tvorbu ledu pod balvanem v zimních měsících a vytváření tlaků na půdu při následném tání ledu (viz model pohybu balvanů podle Ballantyna 2001). V období 2011/2012 se rozdíly teplot pod balvanem a v půdě mimo balvan pohybovaly v rámci chyby měření. Absence teplot pod bodem mrazu v zimních měsících, můžeme přičíst vysokým mocnostem sněhové pokrývky na Čertově louce, které zabraňují extrémnímu promrzání půdy.

Tab. č. 8: Charakteristiky regulačních cyklů v půdě u balvanu č. 8

balvan č. 8		počátek regulačního období	konec regulačního období	počet regulač. cyklů	minimální teplota ($^{\circ}\text{C}$)	datum minimální teploty
2010/2011	pod balvanem	25.11.	11.5.	1	-1,7	10.12.
	mimo balvan	8.12	18.5.	3	-0,4	20.4 - 5.5.
2011/2012	pod balvanem	27.4.	31.5.	1	-0,5	29.4 - 13.5.
	mimo balvan	28.3.	4.6.	1	-0,4	7.5.

Tab. č. 9: Charakteristiky regelačních cyklů v půdě u balvanu č. 23

balvan č. 23		počátek regelačního období	konec regelačního období	počet regelač. cyklů	minimální teplota (°C)	datum minimální teploty
2010/2011	pod balvanem	17.3.	3.4.	2	-0,1	18.3.
	mimo balvan	-	-	0	0,0	-
2011/2012	pod balvanem	29.4.	10.5.	2	-0,1	6.5.
	mimo balvan	30.4.	10.5.	2	-0,1	10.5.

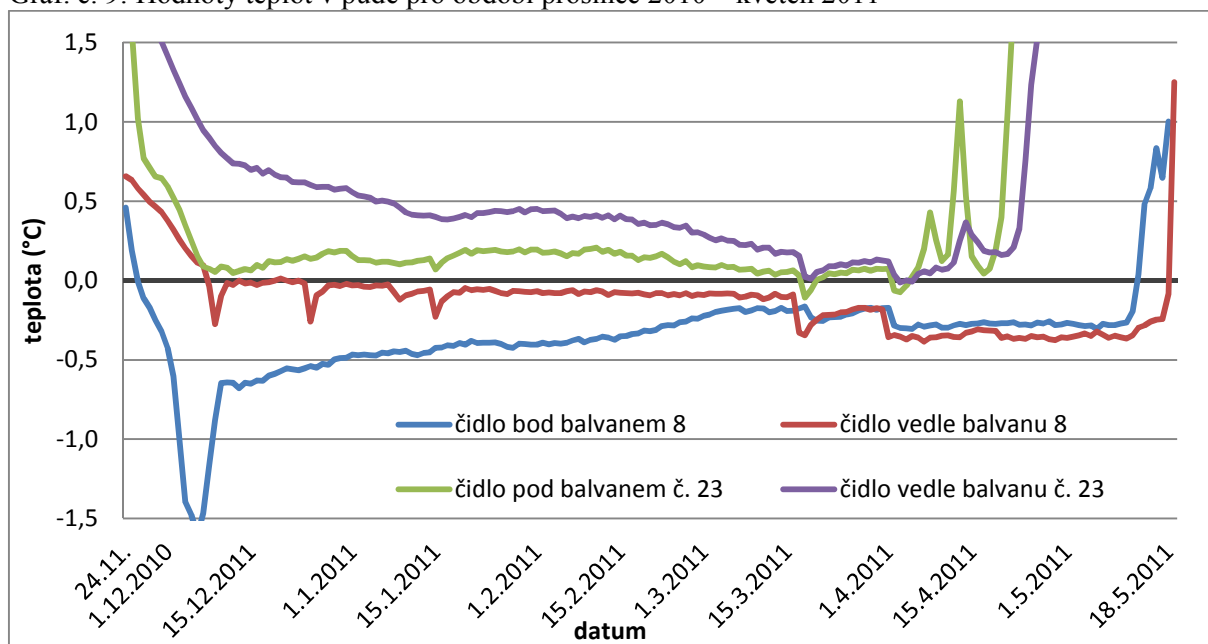
Tab. č. 10: Průměrné měsíční podpovrchové teploty a měsíční teploty vzduchu

		balvan č. 8		balvan č. 23		
		teplota pod balvanem [°C]	teplota mimo balvan [°C]	teplota pod balvanem [°C]	teplota mimo balvan [°C]	teplota vzduchu**[°C]
2010	říjen	4,1*	4,0*	3,5*	4,0*	0,6
	listopad	1,5	1,5	2,4	2,7	-1,1
	prosinec	-0,7	0,0	0,2	0,8	-9,6
2011	leden	-0,4	-0,1	0,1	0,4	-5,9
	únor	-0,3	-0,1	0,2	0,4	-7,2
	březen	-0,2	-0,2	0,1	0,2	-2,6
	duben	-0,3	-0,4	1,1	0,6	2,9
	květen	2,6	1,8	4,9	4,0	5,3
	červen	9,9	9,1	9,8	8,8	8,9
	červenec	10,9	10,5	10,4	9,7	9,0
	srpen	12,7	12,2	11,6	11,0	10,8
	září	10,9	10,6	9,9	9,8	8,0
	říjen	6,1	6,0	5,5	6,0	2,2
	listopad	3,9	3,1	2,6	3,1	1,4
	prosinec	0,7	0,9	0,9	1,4	-4,3
2012	leden	0,4	0,3	1,0	1,2	-6,4
	únor	0,3	0,1	0,6	0,8	-10,3
	březen	0,1	-0,1	0,4	0,5	-1,3
	duben	-0,1	-0,2	0,3	0,3	0,6
	květen	-0,4	-0,4	3,0	2,2	6,8
	červen	6,9	5,9	8,6	7,6	9,2

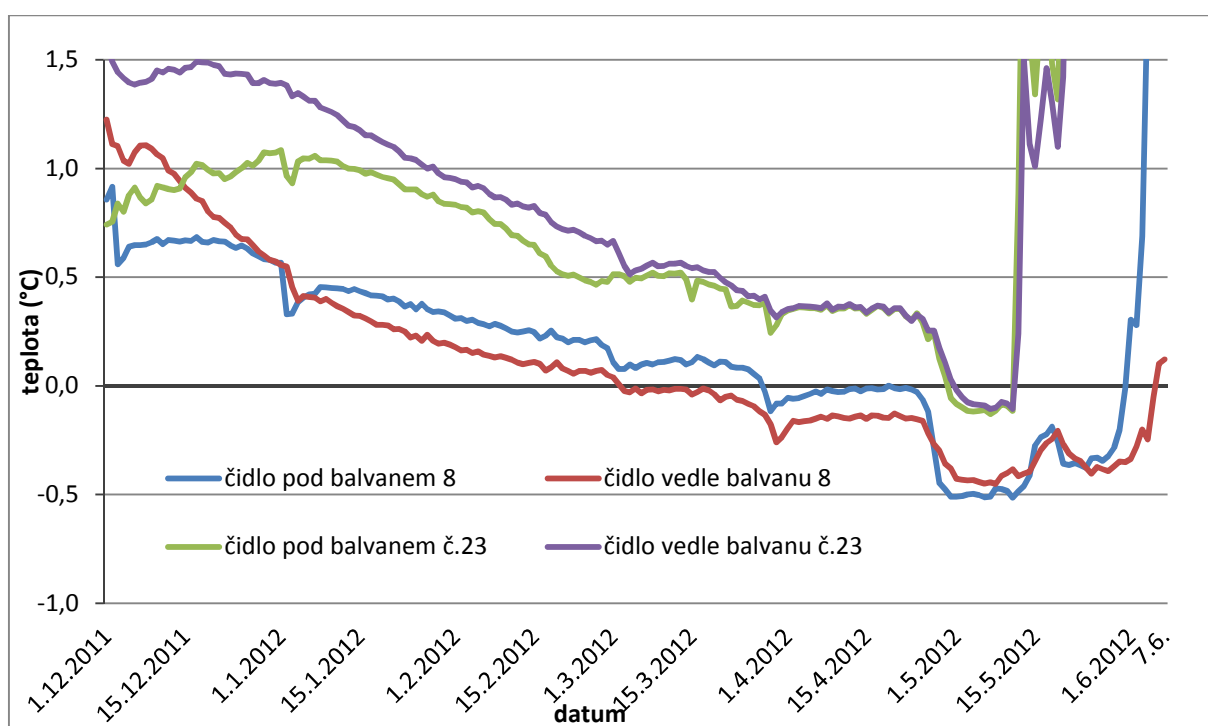
* průměr pro období 7.10 – 31. 10. 2010

** data z meteorologické stanice Luční bouda

Graf. č. 9: Hodnoty teplot v půdě pro období prosinec 2010 – květen 2011



Graf. č. 10: Hodnoty teplot v půdě v období prosinec 2011 – květen 2012



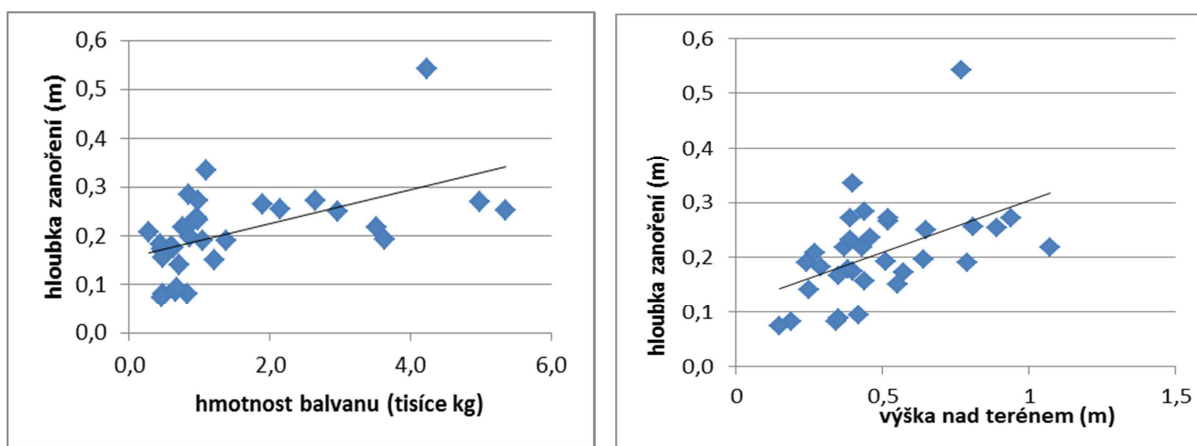
5.6 Charakteristiky zanoření balvanu a objemu balvanů

Naměřené a vypočítané hodnoty objemu a hmotnosti balvanů jsou uvedeny v tabulce č. 11. Celkový objem balvanů se pohybuje v rozmezí 0,122 až 2,234 m³, pouze 5 balvanů má

objem větší než 1 m^3 . Medián pro tento soubor hodnot je $0,424 \text{ m}^3$. Podíl zanořené části objemu balvanu je v 82 % případů menší než podíl objemu balvanu nad povrchem. Pouze v 6 případech je objem balvanu pod povrchem větší než nad ním. Nejčastěji podíl objemu pod povrchem zaujímá 30–40 % celkového objemu. Vypočítaná hmotnost měřených balvanů se pohybuje v rozmezí 294–5348 kg.

V rámci korelačních analýz byla hodnocena závislost hloubky zanoření na výšce balvanu nad terénem a hmotnosti balvanu (obr. č. 16). Získané korelační koeficienty (0,473 pro výšku nad povrchem a 0,544 pro hmotnost) potvrzují, že u balvanů s větší hmotností můžeme předpokládat větší zanoření do půdy.

Obr. č. 16: Závislost hloubky zanoření na výšce balvanu nad terénem a hmotnosti balvanu



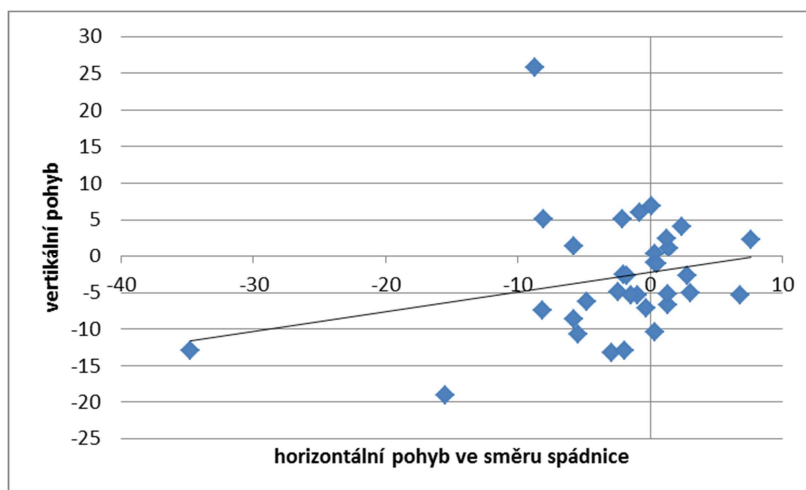
Tab. č. 11: Přehled vybraných charakteristik balvanů

	výška nad terénem (m)	hloubka zanoření (m)	objem pod zemí (m ³)	objem celkem (m ³)	podíl objemu pod zemí (%)	hmotnost (v tisících kg)
1	0,39	0,42	0,290	0,477	60,8	0,989
2	0,46	0,40	0,314	0,499	63,0	0,975
3	0,77	0,59	0,978	1,678	58,3	4,239
4	0,89	0,40	0,912	2,354	38,7	5,348
5	0,52	0,29	0,327	0,749	43,6	1,908
6	0,57	0,25	0,103	0,212	48,6	0,477
7	0,94	0,35	0,714	2,043	35,0	4,988
8	1,07	0,35	0,555	1,532	36,2	3,514
9	0,81	0,36	0,375	0,923	40,7	2,154
10	0,65	0,35	0,496	1,262	39,3	2,964
11	0,34	0,21	0,171	0,424	40,3	0,843
12	0,52	0,36	0,519	1,135	45,8	2,654
13	0,37	0,33	0,197	0,359	55,0	0,771
14	0,24	0,34	0,266	0,513	51,8	1,053
15	0,40	0,26	0,136	0,287	47,3	0,642
16	0,38	0,24	0,142	0,263	54,1	0,601
17	0,19	0,22	0,119	0,260	45,8	0,489
18	0,35	0,24	0,100	0,214	46,7	0,487
19	0,43	0,32	0,230	0,388	59,2	0,840
20	0,35	0,35	0,350	0,519	67,5	0,678
21	0,64	0,25	0,066	0,345	19,2	0,872
22	0,79	0,26	0,256	0,597	42,9	1,394
23	0,55	0,34	0,309	0,630	49,1	1,218
24	0,42	0,25	0,189	0,378	50,0	0,691
25	0,51	0,25	0,517	1,488	34,7	3,634
26	0,27	0,25	0,076	0,122	62,3	0,294
27	0,25	0,25	0,176	0,347	50,7	0,714
28	0,39	0,31	0,199	0,421	47,3	0,985
29	0,29	0,21	0,096	0,180	53,4	0,448
30	0,44	0,23	0,102	0,216	47,4	0,487
31	0,40	0,37	0,247	0,439	56,4	1,102
32	0,44	0,35	0,190	0,358	53,0	0,855
33	0,15	0,20	0,173	0,287	60,4	0,473
medián	0,43	0,307	0,230	0,424	48,6	0,872
průměr	0,49	0,306	0,300	0,664	48,6	1,509
min	0,15	0,197	0,066	0,122	19,2	0,294
max	1,07	0,587	0,978	2,354	67,5	5,348

5.7 Zhodnocení pohybu balvanů

Pro potřebu korelace pohybu vzhledem ke stejnému směru (poklesu či zdvihu balvanu), byly hodnoty horizontálního pohybu přepočítány na směr spádnice (0° nebo 180°). Záporné hodnoty značí pohyb ve směru spádnice (0°), kladné hodnoty směr proti spádnici (180°). Záporné vertikální hodnoty značí relativní pokles balvanu, kladné značí zdvih balvanu. Tato korelace, znázorněná na obr. č. 17, neprokázala dostatečnou závislost. Korelační koeficient dosáhl hodnoty 0,243, který značí nepříliš těsnou závislost. Kritická hodnota korelačního koeficientu pro hladinu významnosti $p < 0,05$ je 0,355 a pro hladinu významnosti $p < 0,01$ je 0,446. Jednoduché korelační analýzy však ne vždy dostatečně přesně analyzují zadané hodnoty. Často mohou být nepřesnosti způsobeny několika chybnými měřeními.

Obr. č. 17: Závislost vertikálního a horizontálního pohybu ve směru spádnice



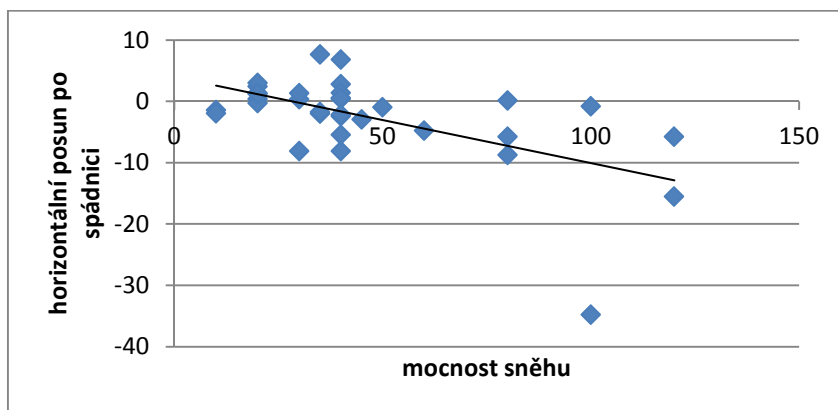
Další hodnocení proběhlo pomocí rozboru shody směru posunu balvanů. Celkem 20 balvanů (zhruba 2/3) mělo mezi roky 2009 a 2012 současně vertikální a horizontální pohyb ve směru po svahu. U horizontálního pohybu považuji za směr po svahu směr spádnice $0^\circ \pm 90^\circ$. U vertikálního směru značí tento směr po svahu pokles výšky. Po vyřazení hodnot, které mohou být zatíženy nepřesností chyby přístroje (viz kapitola 5.1), zbývá pro další hodnocení 18 balvanů, z nichž celkem 12 má opět shodný vertikální a horizontální směr po svahu. Přitom až 70 % balvanů, které se pohybují po svahu, se pohybují směrem do 30° od spádnice. Výrazný posun v obou směrech například zaznamenáváme u balvanu č. 8, 10, 12, 19 a 22. Balvany 8, 10, 12 leží na svahu nivační deprese se sklonem okolo 20° , balvany 19 a 20 leží několik metrů nad hranou této deprese na svahu o sklonu okolo 10° .

V případě závislosti pohybu na sklonu a na hmotnosti balvanů nebyla závislost prokázána (tab. č. 12). Pouze závislost sklonu na horizontálním posunu ve směru spádnice se těsně přibližuje kritické hodnotě pro $p < 0,05$. Středně těsný vztah ukazuje také korelační koeficient pro závislost horizontálního posunu na mocnosti sněhu. Tento vztah však zahrnuje i posuny proti svahu. Průkaznější je vztah horizontálního posunu ve směru spádnice, který ukazuje těsnější závislost (-0,570) zobrazenou na obr. č. 18.

Tab. č. 12: Přehled závislostí a jejich korelačních koeficientů

	horizontální posun	horizontální posun ve směru spádnice	vertikální posun
hmotnost	0,217	-0,239	-0,172
sklon	0,287	-0,350	0,052
sníh	0,471	-0,570	0,058

Obr. č. 18: Závislost horizontálního posunu ve směru spádnice na mocnosti sněhu



6. DISKUZE

6.1 Faktory ovlivňující pohyb balvanů

Jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňující hodnocení změny polohy balvanů je přesnost měření. Práce Kadlečíka (2007) ukázala potřebu zpřesnění měření. Kadlečík (2007) měřil pohyby pomocí laserového paprsku na terčíky přídělané na balvanech. Chybu přístroje Kadlečík (2007) uvádí 3 mm (na vzdálenost kratší 300 m), avšak dodává, že u vzdálenějších balvanů může docházet k větším odchylkám vlivem nepřesného měření méně ostrým laserovým paprskem, například velikost stopy paprsku je 12 mm na vzdálenost 50 m (nejvzdálenější zaměřený balvan na Čertově louce je přitom od výchozího bodu vzdálen 119 m). V této práci je namísto méně přesného laserového paprsku použito zaměřování na odrazný hranol, tím je eliminována chyba měření viditelným laserem na větší vzdálenosti.

Možné chyby při geodetickém zaměřování jsou popsány v přednáškových textech z geodézie (Čada 2007). Chyby, které se při měření úhlů a vzdáleností vyskytují, můžeme rozdělit do tří hlavních skupin: přístrojové chyby, měřické chyby a vnější chyby (z prostředí).

Přesnost pro dálkoměr je u přístroje Leica TRC 705, používaného v této práci, uvedena chyba měření ± 2 mm +2 ppm, což pro balvany vzdálené 9 – 119 metrů znamená chybu měření 2,0 – 2,2 mm. Úhlová přesnost je 1,5 mgon, pro naše podmínky to znamená možnou chybu přístroje 0,2 – 2,8 mm. Celková maximální chyba přístroje se může pohybovat od 2,2 mm do 5 mm.

Na měřické chyby může mít jako na jediné z těchto 3 skupin vliv člověk. Měřickými chybami se rozumí špatné nastavení totální stanice (chyby z nesprávné horizontace a centrace přístroje, chyba z nepevného postavení přístroje) nebo chyba v cílení. Vzhledem k upevňování totální stanice na pevný bod na hornině, můžeme chybu z nepevného postavení přístroje vyloučit.

Do vnějších chyb (z prostředí) se řadí chyba z refrakce (lom světla). Refrakce postihuje více vertikální úhly, na lom světla má největší vliv tvar terénu a atmosférické vlivy. Nejvhodnější podmínky pro zaměřování jsou zatažená obloha, mírný vítr a malé rozdíly denních a nočních teplot. Další možností je chyba z vibrace. Tato chyba je typická pro letní dny s teplotou nad 25 °C, pro naše podmínky, kdy v době měření teplota nedosáhla 20 °C, ji můžeme vyloučit.

Kladná změna polohy ve vertikálním směru nemusí vždy značit výzdvih celého balvanu. Může se jednat pouze o náklon balvanu a tím i změnu vertikální polohy trnu, na který se usazuje odrazný hranol.

Dalším aspektem, který je třeba zohlednit při interpretaci dat, je možnost posunu balvanu, na němž je stanoven výchozí bod. Pro výchozí bod byl vybrán balvan, u něhož je pravděpodobnost pohybu minimální. Balvan leží na svahu o sklonu 3–5° a chybí u něj morfologické znaky naznačující pohyb (val a deprese). Pro kontrolu byl v roce 2012 výchozí bod znovu zaměřen pomocí okolních bodů trigonometrické sítě. Byly vypočítány souřadnice a porovnány s měřením provedeném v roce 2005 Kadlečíkem (2007). Vzdálenost vypočítaných souřadnic v horizontální rovině mezi roky 2005 a 2012 je 97 mm. Vzhledem k velké vzdálenosti od stanoviska trigonometrického bodu č. 7 (šikmá vzdálenost 1,4 km), ze kterého bylo prováděno zaměřování, a trigonometrického bodu č. 12 (šikmá vzdálenost 3,5 km), na který byla prováděna orientace přístroje, je nutné počítat s většími chybami měření. Pohyb výchozího bodu tedy nelze jednoznačně vyvrátit. Avšak směr pohybu 115° (0° je směr spádnice), tedy proti směru spádnice, společně s morfologickými znaky zmíněnými výše, nasvědčuje absenci pohybu horniny po svahu.

6.2 Diskuze s literaturou

Pohyb balvanů byl hodnocen ve 2 rovinách (horizontální a vertikální). Horizontální pohyb balvanů v této studii (mezi lety 2009 – 2012) nevykazuje vysoké amplitudy hodnot. Pouze 4 balvany (z celkových 33 balvanů) se za celkové období posunuly o více jak 1 cm, nejvyšší hodnotou je posun o 36 mm u balvanu č. 10. Převažuje zde posun balvanů ve směru spádnice, ovšem meziroční vektory směrů jsou značně rozkolísané a nejednoznačné. U předchozí studie Kadlečíka, která probíhala v letech 2004 – 2007, naměřené hodnoty horizontálního pohybu vykazují vysoké amplitudy hodnot (1 – 325 mm), přičemž u 16 balvanů byl pohyb více jak 10 mm. Celkem 21 z 33 balvanů (tedy 64 %) se mezi roky 2004 a 2007 pohybovalo směrem proti spádnici, tedy proti předpokládanému pohybu po svahu.

Hodnoty posunu ve vertikálním směru se v období 2009 – 2012 pohybovaly v rozmezí 0 – 26 mm. Celkem 22 z 33 balvanů snížilo svoji relativní výšku oproti výchozímu bodu. Podobně je tomu i v této studii, kdy mezi lety 2004 a 2007 snížilo svoji výšku celkem 20 balvanů. Hodnoty vertikálních posunů se pohybují u Kadlečíka od 0 do 18 mm, avšak hodnoty mezi jednotlivými roky značí výraznější rozptyl (až 38 mm). Větší amplitudy hodnot u

měření Kadlečíka (2007) může způsobovat méně přesná metoda zaměřování pomocí viditelného laseru (viz kapitola 6.1).

Hodnocení změny pohybu balvanů v období 2005 – 2012 (srovnání polohy balvanů v roce 2012 s polohovými daty z roku 2005 Kadlečík (2007)), neprokázala tendenci posunu balvanů po svahu a porovnání vertikálních hodnot ukázalo výrazný nárůst relativní výšky balvanů za toto období. Pouze 4 balvany za toto období snížili svoji výšku (maximálně však jen o 4 mm). Proti tomu 27 balvanů vyznačuje nárůst relativní výšky (hranice 30 mm je překročena 6 balvany), což by značilo celkový zdvih balvanů až o několik centimetrů. Značná nesourodost výsledků může být zapříčiněna několika faktory (náklon balvanu, chyba přístroje, nepřesnost při zaměřování, posun výchozího bodu či chyba v přepočtu souřadnic) hodnocenými v kapitole 6.1.

Balvany na Čertově louce vykazují průměrný pohyb v horizontálním směru 1 – 12 mm za rok, průměrné hodnoty ve vertikálním směru se pohybují od 0 do 9 mm za rok. Balvany také vykazují nerovnoměrnost pohybů mezi jednotlivými roky. Hodnoty vertikálního posunu se pohybují v rozmezí +23 a -24 mm. Jednotlivé balvany vykazují různé změny rychlosti a různé směry posunu mezi jednotlivými měřeními. Průměrný roční pohyb vykazuje obecně značnou variabilitu. V literatuře zaznamenáváme pohyby od 0,3 mm za rok (Shaw 1977 in Ballantyne 2001) až po 75 mm za rok (Gorbunov 1991 in Grab 2008). Jednou z nejnovějších studií je výzkum v pohoří Rock and Pillars Range Nového Zélandu (Grab 2008). Grab (2008) zaznamenal za 30 let měření průměrný posun balvanů 11 mm za rok, v některých případech až 18 mm za rok. Nerovnoměrný pohyb zachytili Berthling et al. (2001b) ve výzkumu plovoucích balvanů ve Skandinávii. Hodnotil zde průběh dvouleté řady měření s průměrným posunem 9 mm za rok, maximální posuny zde dosahují rychlosti až 25 mm za rok. Nepravidelnost posunů balvanů v čase i prostoru zaznamenává i Demek et al. (2001) v oblasti Hrubého Jeseníku. Nejvíce studií plovoucích balvanů je zaznamenáno ve Velké Británii. Rozsáhlou 20 - ti letou studii zde provedl Ballantyne (2001). Balvany se zde pohybují průměrnou rychlostí přibližně 13 mm za rok. Maximální průměrná rychlost však dosahuje rychlosti 30 mm rok. Kumulativní posuny za celé období, však neukazují žádné zrychlení ani zpomalení pohybu balvanů. V Krkonoších na Labské louce započala podrobná studie plovoucích balvanů pomocí geodetického zaměřování v roce 2000 (Švábenský et Wiegel 2004). Při hodnocení výsledků v roce 2004 však horizontální posun nebyl dostatečně zřetelný a vertikální posun značil pouze minimální změny.

Při hodnocení výsledků podpovrchových teplot na studované lokalitě Čertova louka, nebyl v období 201–2012 zaznamenán velký počet regelačních cyklů. Tato absence intenzivnějších regelačních cyklů může být způsobena vysokou mocností sněhové pokrývky na studované lokalitě v průběhu zimy, která brání výraznějšímu promrzání půdy. Dalším faktorem může být také malé množství jílovité a prachové frakce (Kadlečík 2007), které může vést ke snížení mrazové náchylnosti půdy (sensu Sekyra et al. 2001). Díky této studii teplot v půdě byla potvrzena rozdílná teplotní vodivost balvanu a okolní půdy, která podporuje myšlenku pohybu balvanů pomocí geliflukce (sensu Ballantyne 2001). Nejednotný počet regelačních cyklů může být podle Tufnella (1972) příčinou nerovnoměrné rychlosti pohybu balvanů, které Tufnell zaznamenal v 10 – ti leté řadě měření.

Závislost pohybu balvanů na sklonu svahu nebyla na Čertově louce prozatím potvrzena. Ovšem i přes to, zaznamenáváme největší pohyby u balvanů, které leží na největším sklonu svahu, což je 20°. Vysvětlení této závislosti může být ve zvětšujícím se smykovém napětí se stoupajícím sklonem svahu (Ballantyne 2001). Grab (2008) však zjistil pomocí Pearsonova koeficientu pozitivní vztah pohybu balvanů ke sklonu svahu. Stejně tak i Chattopadhyay (1983) uvádí největší posuny balvanů na svahu o sklonu 15–32°. Ballantyne (2001) uvádí exponenciální závislost těchto dvou veličin. Avšak někteří autoři (Kotarba (1976), Tufnell (1976), a Shaw (1977) in Ballantyne 2001) tuto závislost nepotvrdili.

Na studované lokalitě Čertova louka byla potvrzena závislost mezi hloubkou zanoření balvanů a výškou nad terénem nebo hmotností balvanu. Mírnou závislost mezi hloubkou, do které jsou balvany zabořeny a výškou balvanu nad povrchem, zjistil také Ballantyne (2001), tento poznatek vede k logickému závěru, že balvany vyčnívající nejvíce nad terén, mají sklon být nejvíce zabořeny do půdy a tudíž vytvářet hlubší rýhy.

Vztah mezi hmotností balvanu a posunem balvanu nebyl na Čertově louce zjištěn, což potvrzuje i Ballantyne (2001). Žádná studie ve Velké Británii neindikuje vztah mezi rychlostí pohybu a velikostí balvanu, ale výzkum Kotarby (1976, in Ballantyne 2001) ve Vysokých Tatrách ukazuje úzký vztah. Také Berthling et al. (2001a) v jižním Norsku zaznamenali tendenci větších balvanů pohybovat se rychleji. Jako možnou příčinu, uvádí větší teplotní vodivost balvanů v kombinaci s tím, že větší balvany vyčnívají delší dobu nad sněhovou pokrývkou, na rozdíl od okolní půdy, která je díky sněhu tepelně izolována. Demek et al. (2011) uvádí negativní závislost pohybu na objemu balvanů. S rostoucím objemem balvanu klesá pohyb balvanu po svahu.

7. ZÁVĚR

Výsledky opakovaných geodetických měření polohy balvanů na Čertově louce ukázaly nepravidelné změny polohy jak ve vertikální, tak v horizontální složce. Hodnoty vertikální změny polohy za období 2009 – 2012 se pohybují od -19 do +26 mm. Změny v horizontálním směru se pohybují od 3 do 36 mm. Oproti dalším studiím na území Krkonoš (např. Prosová in Sekyra et al. 2001 uvádí posun balvanů 20 cm za 3 roky), balvany na Čertově louce nevykazují tak vysoké pohyby (pouze u 4 balvanů byla hodnota změny posunu více než 1 cm za 3 roky). Vertikální a horizontální směr posunu po svahu byl za období 2009 – 2012 zjištěn u 20 balvanů z 33 zaměřovaných. Celkem 12 z těchto 20 balvanů (61 %), vykazuje změnu polohy větší než je vypočítaná možná chyba měření.

Vzhledem k malým změnám pohybu balvanů je přesnost měření důležitým prvkem pro interpretaci dat. Byly vypočítány maximální možné chyby měření přístroje a zohledněny při interpretaci dat. Dalším aspektem, který může ovlivnit výsledné hodnoty posunu balvanů je náklon balvanu (vertikální změna trnu, na který se usazuje odrazný hranol) či možný posun výchozího bodu. Morfologické charakteristiky výchozího bodu a geodetické zaměřování však nenaznačují možnost pohybu výchozího balvanu.

Vlastní polohová data z roku 2012 byla porovnána s daty naměřenými v roce 2005 Kadlečíkem (2007). Hodnocené období 2005 – 2012 ukázalo významný zdvih většiny balvanů. Vzhledem k zaměřování viditelným laserem v roce 2005, které je zatíženo větší chybou měření, může být tento zdvih způsoben chybou měření či přepočtem souřadnic na novou metodiku měření. Velice těsný vztah mezi změnou pohybu balvanů a vzdáleností balvanů od výchozího bodu poukazuje na možnou chybu měření na větší vzdálenosti.

Při korelačních analýzách byly potvrzeny některé poznatky, známé z dlouholetých studií plovoucích balvanů v jiných lokalitách. Byla potvrzena závislost hloubky zanoření na výšce balvanu nad povrchem a hmotností balvanu. Tedy čím jsou balvany těžší a čím více vyčnívají nad povrch, tím více jsou zanořeny do půdy. Nebyla potvrzena závislost pohybu balvanů na jejich hmotnosti, což však již dříve naznačil Ballantyne (2001). Mírná závislost pohybu byla zjištěna u rozložení sněhové pokrývky. Největších pohybů (pokles o 9 – 19 mm) dosahovaly balvany č. 8 – 11 v místě nivační deprese, kde se během zimního období akumuluje větší množství sněhu, než v místě výskytu ostatních studovaných balvanů a sněhová pokrýвка zde roztává až v průběhu června. Tající sníh je zásobárnou vody pro soliflukční procesy a zároveň je tepelným izolátorem, chránící půdu od extrémních teplotních výkyvů

(Prosová 1961). Na studované lokalitě byl zároveň zjištěn nízký počet regelačních cyklů (maximálně 3 regelační cykly) během zimního období, jejichž příčinou může být právě vysoká mocnost sněhové pokrývky. Byl také zjištěn rozdílný chod teplot pod balvanem a v půdě mimo balvan. V půdě pod balvanem byla zjištěna nejnižší průměrná denní teplota $-1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nejnižší teplota dosažená v půdě mimo balvan byla pouze $-0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ a regelační cykly se zde vyskytovaly častěji. K prvnímu poklesu pod bod mrazu došlo v půdě mimo balvan později, než tomu bylo pod balvanem. Tento chod teplot může být způsoben rozdílnou tepelnou vodivostí kamene a půdy.

Změny polohy balvanů naznačují výskyt mrazových pochodů v půdě, avšak i přes zjištěné pohyby, poznatky o regelačních cyklech pod balvanem a zjištěné závislosti, nelze vzhledem k celkové nerovnoměrnosti změn poloh jednoznačně pohyb balvanů dolů po svahu potvrdit. Pro jednoznačné potvrzení recentní aktivity a zhodnocení trendů posunu balvanů by bylo zapotřebí dlouhodobější měření.

8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- BALLANTYNE, C. K., HARRIS, C. (2011). *The Periglaciation of Great Britain*. Cambridge University Press, Cambridge, 330 s.
- BALLANTYNE, C. K. (2001): Measurement and theory of ploughing boulder movement. *Permafrost and Periglacial Processes*, 12, s. 267–288.
- BERTHLING, I., EIKEN, T., MADSEN, H., SOLLID J., L. (2001): Downslope displacement rates of ploughing boulders in a mid-alpine environment: Finse, southern Norway. *Geografiska Annaler*, 83A, 3, s. 103–116.
- BERTHLING, I., EIKEN, T., SOLLID J., L. (2001): Frost heave and thaw consolidation of ploughing boulders in a mid-alpine environment, Finse, southern Norway. *Permafrost and Periglacial Processes*, 12, s. 165–177.
- COUFAL, L., ŠEBEK, O. (1969): Klimatické poměry Krkonoš. In: Fanta, J. et al.: *Příroda Krkonošského národního parku*. SZN, Praha, s. 88–101.
- ČADA, V. (2007): Přednáškové texty z geodézie [online]. [cit. 2012-06-19]. Dostupné z: <http://gis.zcu.cz/studium/gen1/html/index.html>.
- DEMEK, J., (1987): *Obecná geomorfologie*. Academia, Praha, 476s.
- DEMEK, J., Havlíček, M., Mackovčín, P. (2001): Quantitative monitoring of slope movements at Břidličná hora Mts. (Hrubý Jeseník Mts., Czech republic, EU). *Acta Universitatis Carolinae - Geographica*, 2, 31–43s.
- DYLIK, J. (1967): Solifluxion, congelifluxion and related slope processes. *Geografiska Annaler*, 49 A, 2, s. 167–177.
- ENGEL, Z., ústní sdělení.
- FANTA, J. et al.: *Příroda Krkonošského národního parku*. SZN, Praha.
- FRENCH, H. M. (2007): *The periglacial environment*. Harlow, Longman, 277s.
- GRAB, S., W., DICKINSON, K., J., M., MARK, A., F., MAEGLI, T. (2008): Ploughing boulders on the Rock and Pillar Range, south-central New Zealand: their geomorphology and alpine plat associations. *Journal of the Royal Society of New Zealand*, 38, 1, s. 55 – 71.
- HALÁSOVÁ, O., HANČAROVÁ, E., VAŠKOVÁ, I. (2007): Časová a prostorová variabilita vybraných klimatologických a hydrologických prvků na území Krkonoš za období 1961 – 2000. In: In: ŠTURSA, J., KNAPIK, R.: *Geologické problémy Krkonoš*. Sborn. Mez. Věd. konf., říjen 2006, Svoboda nad Úpou. *Opera Corcontica*, 44, Vrchlabí, s. 67–79.
- HALL, K., BOELHOUWERS, J., DRISCOLL, K. (2001): Some morphometric measurements on ploughing blocks in the McGregor Mountains, Canadian Rockies, *Permafrost and Periglacial Processes*, 12, 2, s. 219–225.
- HLADNÝ, J., SÝKORA, B., (1983): Hydrologie. In: Sýkora, B. et al.: *Krkonošský národní park*. SZN, Praha, s. 37–40.

- CHALOUPSKÝ, J. (1969): Geologický vývoj Krkonoš. In: Fanta, J. et al.: Příroda Krkonošského národního parku. SZN, Praha, s. 42–48.
- CHALOUPSKÝ, J. et al. (1989): Geologie Krkonoš a Jizerských hor. Academia, Praha, 288s.
- CHATTOPADHYAY, G., P. (1983): Ploughing block on the Drumochter hills in the Graimipian Highlands, Scotland: A quantitative report. *The Geographical Journal*, 149, 2, s. 211–215.
- CHLUPÁČ, I. et al. (2002): Geologická minulost české republiky. Academia, Praha, 436s.
- JAHN, A., CIELIŃSKA, M. (1974): Ruchy gruntu na stokach Karkonoszy. *Acta Universitas Wratislavenensis*, 236, Práce Inst. Geogr., Ser A., s. 5–24.
- JÁNSKÝ, B. (2004): Retence vody v povodí [online]. [cit. 2012-06-19]. Dostupné z: http://hydro.natur.cuni.cz/zmeny_povodni/pdf/jansky.pdf.
- JANÁSKOVÁ, B. (2005): Vliv sněhových poměrů na rozmístění a aktivitu periglaciálních tvarů ve východních Krkonoších. Diplomová práce, Praha, 95s.
- JENÍK, J. (1961): Alpínská vegetace Krkonoš, Kralického Sněžníku a Hrubého Jeseníku. Praha, 409s.
- JENÍK, J., SEKYRA, J. (1995): Exodynamic and climatic factors. In: Soukupová, L. et al.: Arctic-alpine tundra in the Krkonoše, the Sudetes. *Opera Corcontica*, 32, Vrchlabí, s. 13–19.
- KADLEČÍK, P. (2007): Recentní pohyby putujících bloků na Čertově louce v Krkonoších. Diplomová práce, Praha, 102s.
- KOCIÁNOVÁ, M., ŠTURSOVÁ, H. (2002): Problematika dosud nepopsaných reliéfových forem vzniklých za spolupůsobení mrazu a vegetace. *Opera Corcontica*, 39, Vrchlabí, s. 115–142.
- KRÁLÍK, F., SEKYRA, J. (1969): Geomorfologický přehled Krkonoš. In: Fanta, J. et al.: Příroda Krkonošského národního parku. SZN, Praha, s. 59–87.
- KŘÍŽEK, M., TREML, V., ENGEL, Z. (2007): Zákonitosti prostorového rozmístění periglaciálních tvarů v Krkonoších nad alpínskou hranicí lesa. In: ŠTURSA, J., KNAPIK, R.: Geologické problémy Krkonoš. Sborn. Mez. Věd. konf., říjen 2006, Svoboda nad Úpou. *Opera Corcontica*, 44, Vrchlabí, s. 67–79.
- KŘÍŽEK, M. (2004): Vybrané periglaciální tvary Vysokých Sudet. In: Engel, Z., Křížek, M., Vilímek, V. /ed./: Geomorfologický sborník 3, Přf UK, Výzkumné centrum dynamiky Země, 1. vydání, Praha: Přf UK, 2004, s. 37–39.
- LÍBALOVÁ, J. (1964): Krkonošský žulový masiv. *Opera Corcontica*, 1, Vrchlabí, s. 25–33.
- MÁLKOVÁ, J. (2001): Výzkum antropofyt u bývalé Scharfovy boudy a šesti přilehlých cest. Východočeský sborník přírodovědný - Práce a studie, č. 9, s. 57–94.
- MATĚJKA, K., MÁLKOVÁ, J. (2010): Long term dynamics of plant communities in subalpine and alpin zone of Eastern Giant Mts. *Opera Corcontica*, 47, Vrchlabí, s. 123–138.
- MATSUOKA, N. (2001): Solifluction rates, processes and landforms: a global review. *Institute of Geoscience, University of Tsukuba, Earth-Science Review* 55, Ibaraki.
- PELÍŠEK, J. (1974): Půdy Krkonošského národního parku. *Opera Corcontica*, 11, Praha, s. 7–35.

- PEWÉ, T., L. (1969): The periglacial environment. Montreal, McGill, Queen's University Press, s. 1-9.
- PROSOVÁ, M. (1961). Recentní regelace v horských oblastech Českého masivu. Přírodovědný časopis slezský 22/2, s. 217–222.
- QUITT, E. (1971): Klimatické oblasti ČSSR. Studia Geographica. ČSAV Brno, s. 73.
- REID, J., R., NESJE, A. (1988): A giant plouging block, Finse, souther Norway. Geografiska Annaler 70 A, 1-2, s. 27 – 33.
- SEKYRA, J. (1960): Působení mrazu na půdu. Kryopedologie se zvláštním zřetelem k ČSR. Geotechnika, sv. 27, Praha, 164 s.
- SEKYRA, J., KOCIÁNOVÁ, M., ŠTURSOVÁ, H. (2001): Origin and significance od ploughing blocks on Labská louka meadow, Western Krkonoše Mountains. Opera corcontica, 38, Vrchlabí, s. 33–246.
- SEKYRA, J., SEKYRA, Z. (2002): Former existence of plateau icefield in Bílá louka meadow. Eastern Giant mountains. Hypothesis and evidence. Opera Corcontica, 39, Vrchlabí, s. 35–43.
- ŠEBESTA, J., TREML, V. (1976): Glacigenní a nivační modelace údolí a údolních uzávěrů Krkonoš. Opera Corcontica, 10, Praha, s. 7–44.
- ŠINDELÁŘOVÁ, T. (2003): Větrné poměry v Krkonoších. Diplomová práce, 68s., Praha.
- ŠOUREK, J. (1969): Květena Krkonoš. In: Fanta, J. et al.: Příroda Krkonošského národního parku. SZN, Praha, s. 119–160.
- ŠVÁBENSKÝ, O., WIEGEL, J.: Results of four year monitoring of displacement of rock blocks in The Krkonoše Mts. Acta Geodyna. Geomater. Vol. 1. No. 3, s. 75–81.
- ŠVÁBENSKÝ, O., WIEGEL, J., MACHOTKA, R., PODSTAVEK J. (2003): Recent geodetic activities of Brno University of Technology in Sudety Mts. Acta Montana, 24A, s 81–85.
- TREML, V. (2003): Prostorové rozmístění recentních periglaciálních jevů v alpinském bezlesí Východních Krkonoš. Geomorfologický sborník, 2, Plzeň, s. 301–306.
- TRYZNA, V. (2011): Sněhové poměry na Čertově louce a v Modrém sedle (Krkonoše) v zimě 2010/2011. Praha: Univerzita Karlova v Praze, s. 35.
- TUFNELL, L. (1972): Ploughing blocks with special reference to North-west England. Biuletyn Periglacialny, Łódź, s. 237–270.
- WASHBURN, A. L. (1979): Geocryology. Edward Arnold, London, s. 406.
- WILSON, (1993): ploughing boulder characteristic and associated soil properties in the Lake District and southern Scotland. Scottish Geographical Magazine, 109, s. 18–26.

Další zdroje:

Geografický informační systém správy KRNAP, datové vrstvy: vrstevnice int. 25 m, geologie, toky.

Klimatologická data meteorologické stanice Luční bouda, Český hyd

PŘÍLOHY

Seznam příloh

Příloha č. 1: Vybrané charakteristiky jednotlivých balvanů

Příloha č. 2: Vertikální posuny jednotlivých balvanů v období 2009 – 2012

Příloha č. 3: Horizontální posuny jednotlivých balvanů v období 2009 – 2012

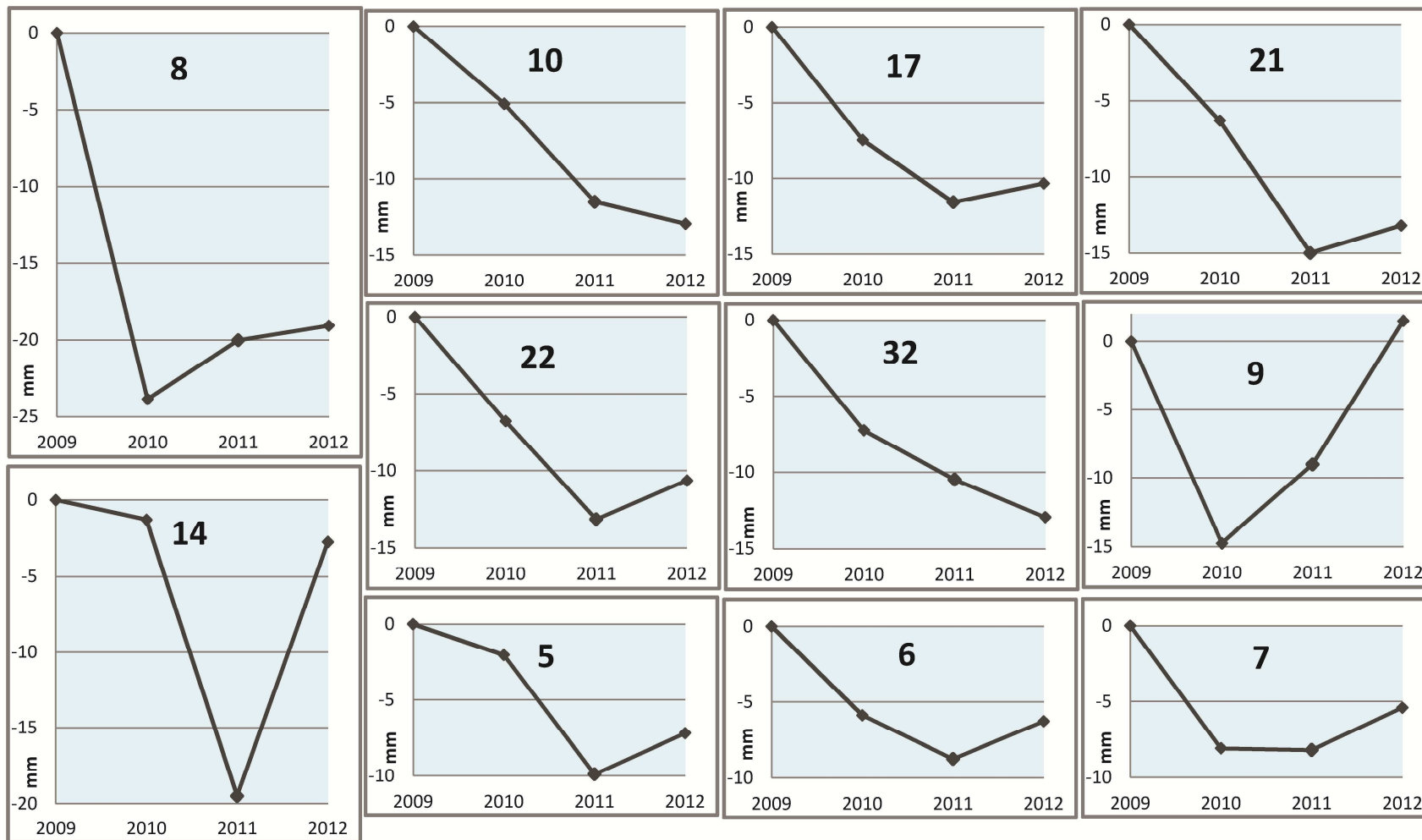
Příloha č. 1: Vybrané charakteristiky jednotlivých balvanů

číslo bloku	typ svahu	sklon svahu	délka delší osy	délka kratší osy	výška nad terénem	odchylka od spádnice*	zarostlost (%)	výška valu	šířka valu	typ valu	délka deprese	typ deprese	šířka deprese	hloubka deprese
1	1	12	129	83	39	0	5	30	39	C	126	2	36	16
2	3	10	96	88	46	0	5	44	71	A	67	1	82	21
3	1	11	140	135	77	30	5	24	45	C	25	4	84	13
4	3	8	196	120	89	25	0	40	52	B	72	1	26	10
5	2	10	134	109	52	30	0	45	57	C	142	2	85	28
6	1	20	84	69	57	0	0	29	25	C	475	3	86	12
7	2	18	198	146	94	75	0	54	142	A	114	1	143	34
8	1	16	182	88	107	30	0	18	46	A	182	1	199	27
9	1	19	129	93	81	70	5	18	26	A	12	1	16	7
10	1	22	127	97	65	85	0	63	43	B	80	1	156	32
11	3	21	151	97	34	0	0	40	57	B	438	2	106	16
12	2	21	172	121	52	0	0	74	134	A	78	1	136	29
13	1	12	136	78	37	0	10	31	43	B	555	2	81	15
14	1	12	143	67	24	0	0	24	43	B	125	1	114	20
15	1	12	110	82	40	5	0	31	39	C	225	2	66	18
16	1	14	97	74	38	0	10	21	31	C	458	2	63	19
17	1	14	131	77	19	10	30	22	35	B	178	2	39	19
18	1	12	81	77	35	0	15	37	43	C	269	2	58	23
19	1	12	137	64	43	0	10	13	42	B	128	2	99	17
20	1	20	121	106	35	0	15	18	40	A	48	1	43	19
21	1	10	114	104	64	90	25	40	49	B	98	1	123	31
22	1	10	116	110	79	50	10	24	63	B	278	2	98	32
23	1	10	140	96	55	0	0	38	57	B	298	2	83	19
24	1	11	125	68	42	0	0	30	22	C	346	2	45	23
25	3	10	216	115	51	5	0	39	31	C	389	2	121	32
26	1	10	76	66	27	90	10	18	35	A	51	1	54	11
27	1	10	131	58	25	0	10	32	49	C	521	3	45	21
28	1	11	101	73	39	10	0	32	35	C	393	2	81	12
29	1	10	106	79	29	5	0	36	48	C	153	2	59	19
30	1	10	95	62	44	0	15	25	42	A	109	2	70	28
31	1	11	124	85	40	45	30	43	53	B	62	1	83	12
32	1	12	99	63	44	5	25	14	27	B	96	1	84	19
33	1	10	118	103	15	25	30	15	26	B	-	-	-	-

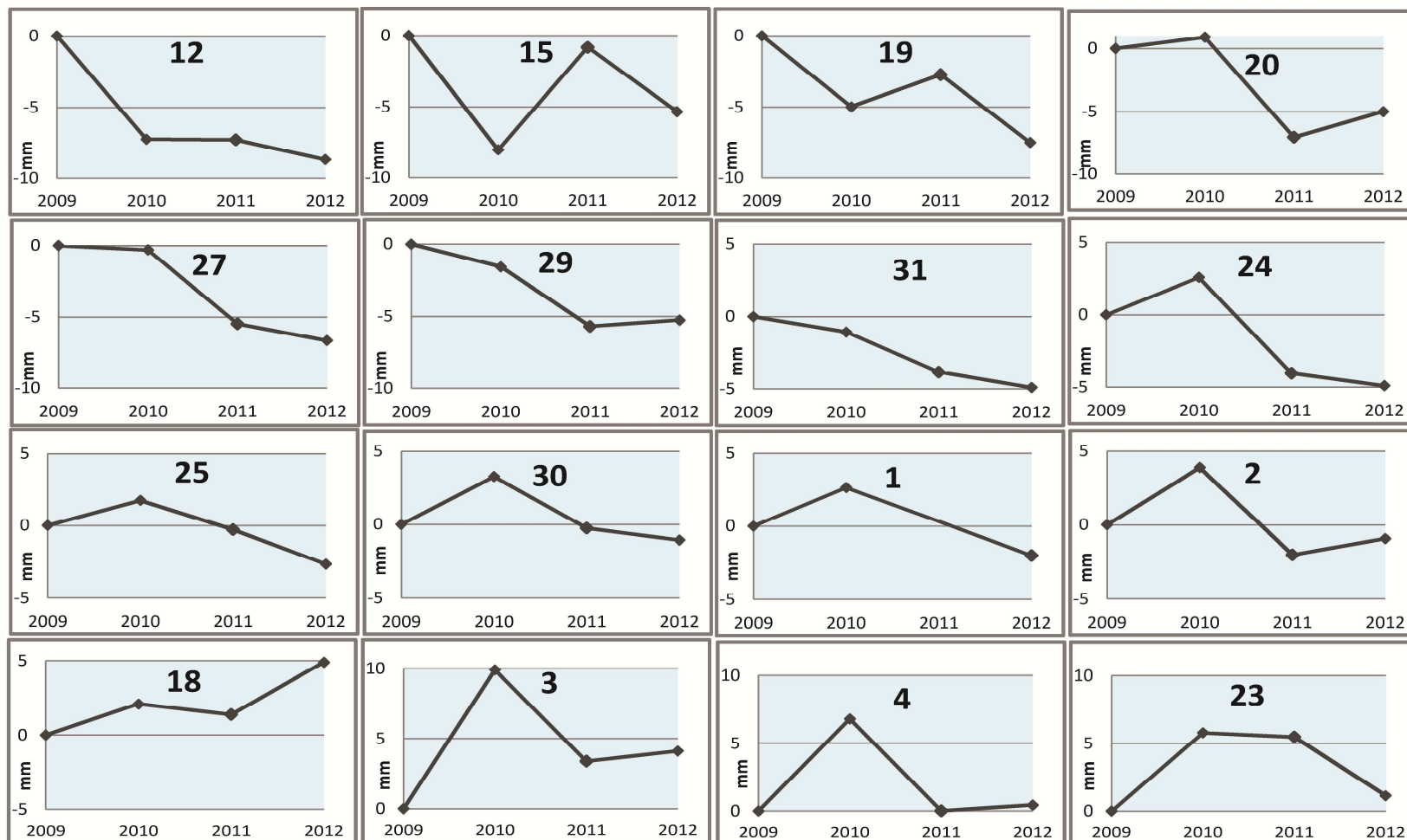
Poznámka: sklon svahu a odchylka od spádnice jsou uvedeny ve °, typ svahu, valu a deprese jsou zvolené kategorie (viz text kapitola 5.1), ostatní veličiny jsou udány v cm

Zdroj: Kadlečík (2007)

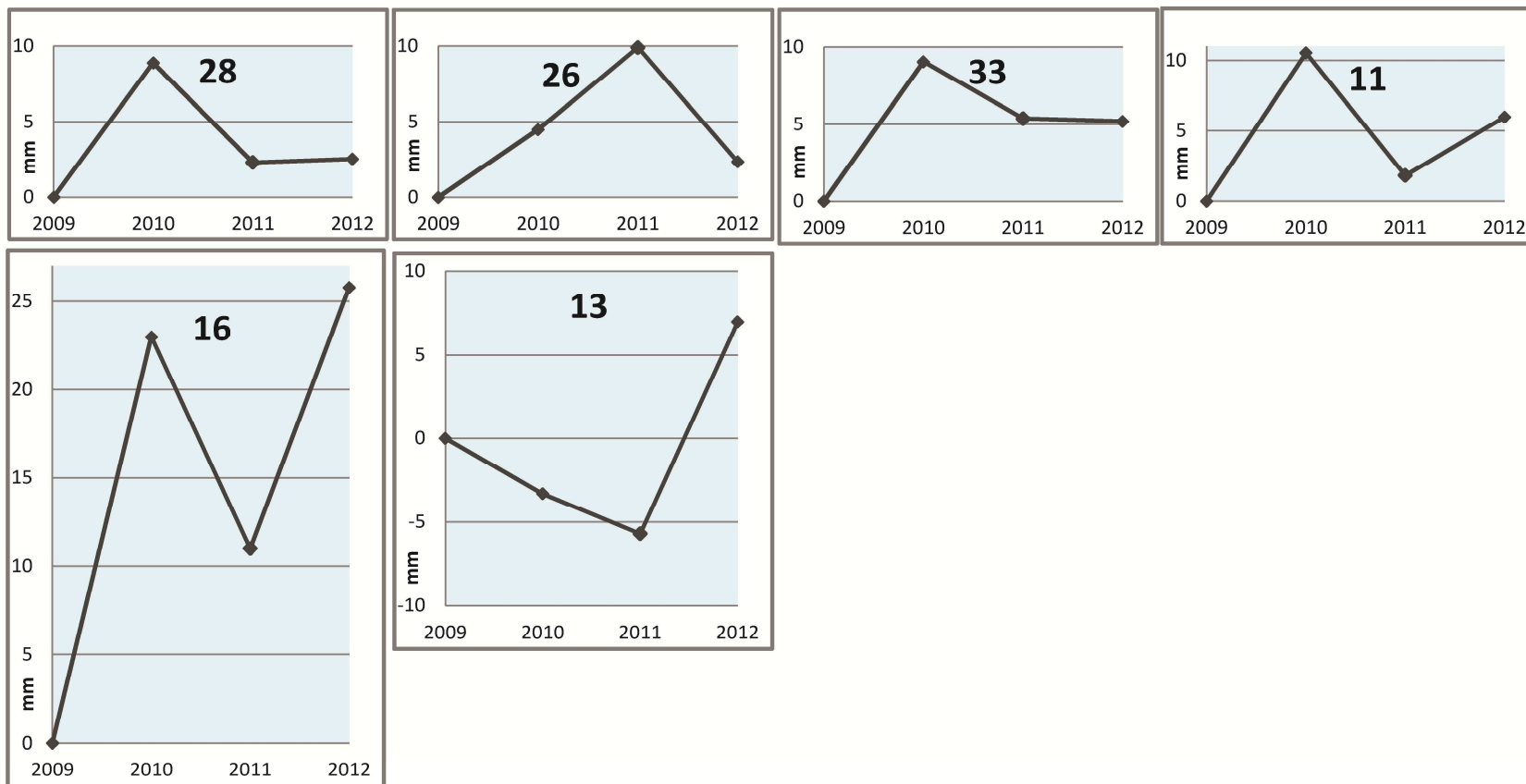
Příloha č. 2: Vertikální posuny jednotlivých balvanů v období 2009 – 2012 (1. část)



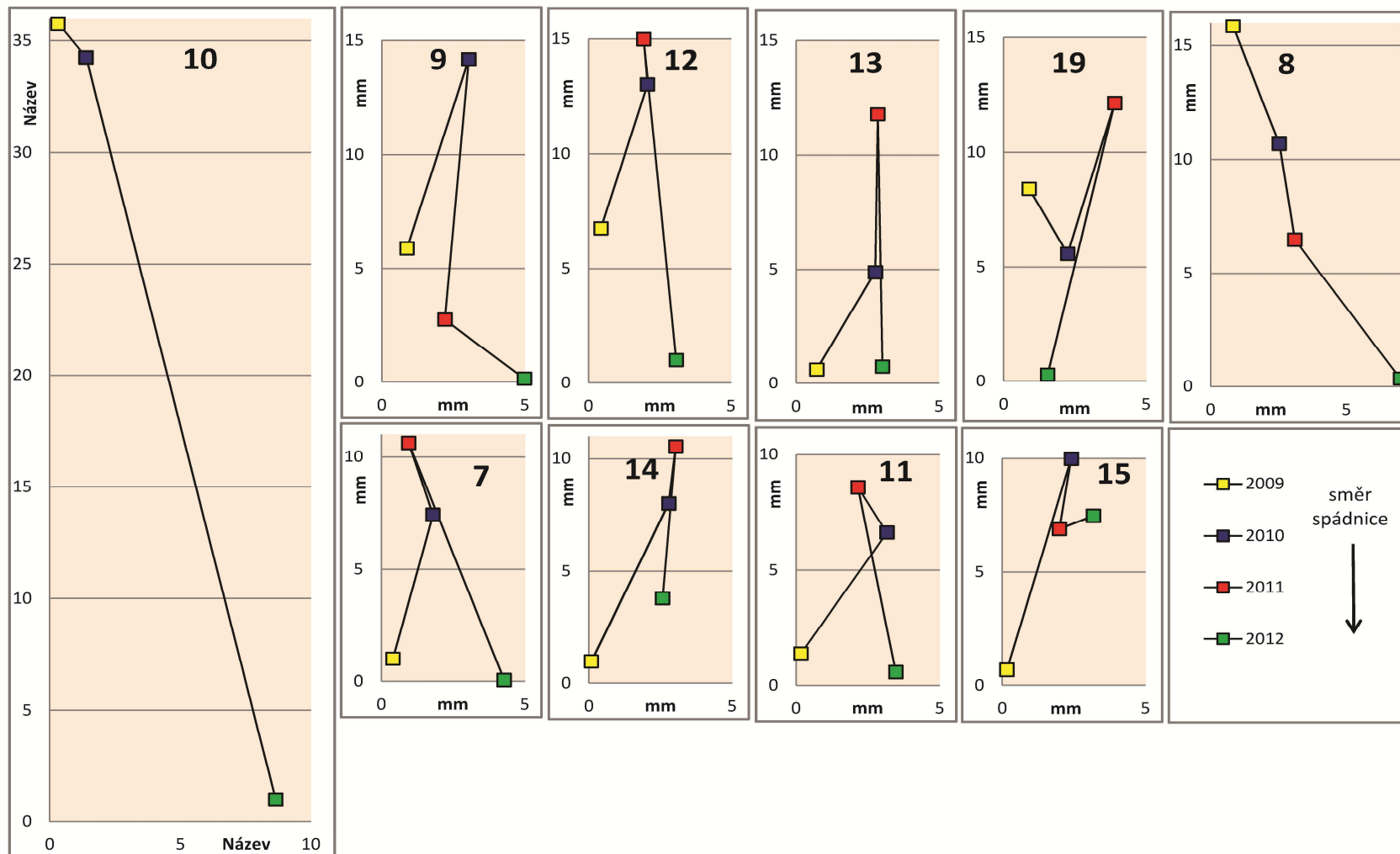
Příloha č. 2: Vertikální posuny jednotlivých balvanů v období 2009 – 2012 (2. část)



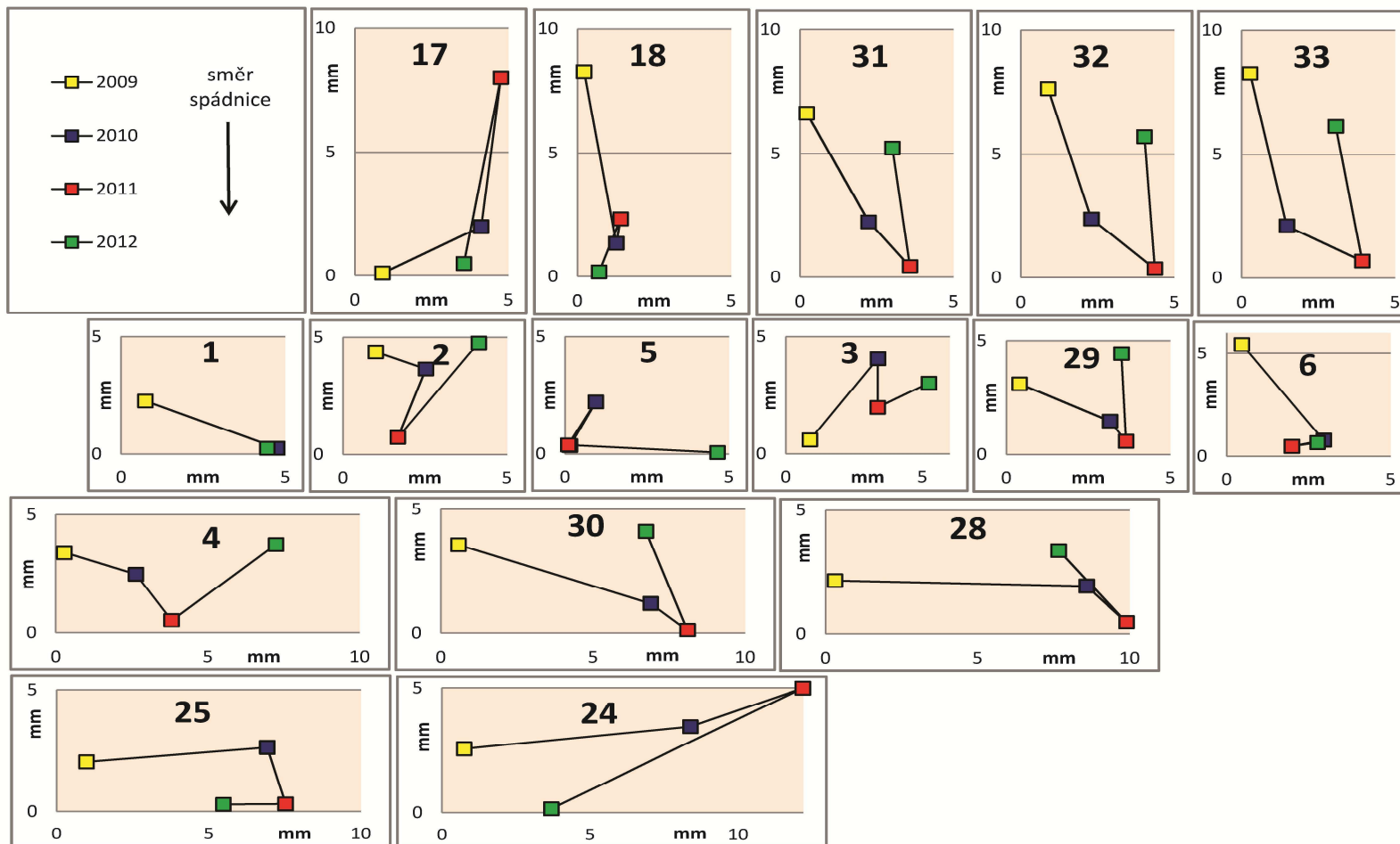
Příloha č. 2: Vertikální posuny jednotlivých balvanů v období 2009 – 2012 (3. část)



Příloha č. 3: Horizontální posuny jednotlivých balvanů v období 2009 – 2012 (1. část)



Příloha č. 3: Horizontální posuny jednotlivých balvanů v období 2009 – 2012 (2. část)



Příloha č. 3: Horizontální posuny jednotlivých balvanů v období 2009 – 2012 (1. část)

