

JAN BURDA

DENDROGEOMORFOLOGICKÁ ANALÝZA DYNAMIKY SVAHOVÝCH POHYBŮ V LOKALITĚ JEZEŘÍ

BURDA, J. (2010): Dendrogeomorphological analysis of mass movement dynamics in the Jezeří Chateau area. Geografie, 115, No. 4, pp. 440–460. – The object of this study is the dendrogeomorphological research of 35 severely tilted trees (*Fagus sylvatica*) in a natural hazard area around Jezeří Chateau in the Krušné Hory Mountains. The paper studies the dynamics of mass movement in a geologically and geomorphologically problematic area, where mining expanded high up onto the southeast-facing slopes of the Krušné Hory Mountains. Growth disturbances – eccentricities of annual rings and sudden growth changes – were examined and described for the period from 1900 to 2006. Significantly low mass movement “rates” can be observed during the 1940s and 1990s, high mass movement “rates” were identified during the first decade of the 1900s, the end of 1950s and during the 1970s.

KEY WORDS: dendrogeomorphology – tree rings – mass movements – Krušné Hory Mountains.

Článek vznikl s přispěním grantového projektu GA UK 155610 a výzkumného záměru MSM 0021620831.

1. Úvod

Článek uceleně prezentuje výsledky dendrogeomorfologického výzkumu provedeného v okolí zámeckého areálu Jezeří. Zájmové území se nachází v Krušných horách v oblasti výrazně přetvořené antropogenní činností spojenou s těžbou hnědého uhlí. Ta se zde provádí ve velkolomech, které odtěžují z oblasti Mostecké pánve stovky metrů nadložních terciérních sedimentů. Velkolom Československé armády (dále VČSA) již v 80. letech minulého století postoupil až k úpatí Krušných hor a nepříznivě ovlivnil stabilitní poměry oblasti.

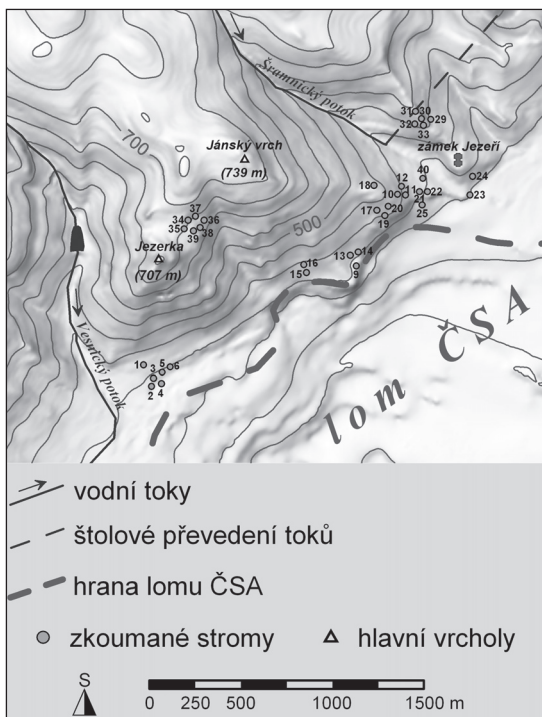
Cílem studie je dendrogeomorfologická analýza vybraných stromů a následná interpretace růstových disturbancí. Výsledky studie se opírají o letokruhovou analýzu vzorků odebraných z 50 stromů rodu *Fagus sylvatica*. Posouzením excentrického růstu letokruhů a náhlých růstových změn práce vymezuje léta, v nichž došlo k růstovým anomáliím. Následně se snaží tyto anomálie dešifrovat a posoudit, zda jsou tyto anomálie způsobeny svahovými pohyby nebo jinými vlivy. Cílem časoprostorové analýzy je potom určení konkrétních roků a partií, v nichž došlo k rozvoji svahových pohybů. Aby bylo možné eliminovat růstové šумы způsobené klimatickými vlivy, studie rovněž předkládá referenční křivku, která byla porovnána se srážkovými úhrny ze stanice ČHMÚ Boleboř. Časový rámec, ve kterém byly svahové pohyby studovány, je limitován dosahem vzorků. Jedná se o období let 1900–2006.

2. Charakteristika oblasti

Zkoumané území se nachází v Krušných horách v oblasti Kateřinohorské klenby. Lokalita zámku Jezeří je situována na jihovýchodním svahu Krušných hor mezi Jezerkou a Kapucínem. Administrativně leží pozorovaná oblast na území okresů Most a Chomutov. Hlavním předmětem zájmu je svah se zámeckým areálem Jezeří, tedy oblast styku krušnohorského krystalinika a sedimentů Mostecké pánve. Podrobnou geologickou a geomorfologickou charakteristiku oblasti přinesly četné práce: Váně (1960), Král (1968), Hurník (1969), Škvor (1975), Marek (1977), Marek (1980), Hurník (1982a, b), Zmítko (1983), Marek (1983a, b), Malkovský a kol. (1985), Vilímek (1992). Nověji potom Horáček (1994), Kalvoda et. al (1994), Valeš (1998), Haas (1998), Marek (2005, 2006).

Kateřinohorská klenba má plochou antiklinální stavbu, jejíž osa probíhá přibližně ve směru Z–V, mnohde je postižena četnými zlomy, zejména ve směru SZ–JV (Škvor 1975). Jádro této klenby tvoří ortoruly, k nimž přiléhají obalové série krystalických břidlic. Foliace těchto hornin v okolí zámku upadá podle Marka (1983a) vějířovitě do pánve většinou k SV a jejich sklon přesahuje hodnotu 50°, výjimečně i hodnotu 70°. Krušnohorské krystalinikum sledované oblasti v okolí zámeckého areálu Jezeří se vyznačuje značnou hustotou poruchových zón, přičemž se zde uplatňuje směrná tektonika i tektonika příčná. Tento systém zlomů se uplatňuje i ve vrcholových oblastech masívu (Marek 1983a, 1994). Tyto poruchy tudíž člení horský masív do soustavy ker, vlastní gotické jádro zámku Jezeří tak spočívá na „morfologicky vysunutém skalním ostrohu“ (Valeš 1998, s. 100), který je oddělen dvěma poruchami o mocnosti 40 a 70 m. Porucha při úpatí svahu je strmě ukloněna do hor, přibližně pod úhlem 70°, zatímco poruchová zóna výše ve svahu se pod stejným úhlem uklání směrem do pánve. Novější části zámku spočívají již na nezpevněných sutích pocházejících z menšího fosilního sesuvu (Marek 1983a, b).

Probíhající důlní těžba v kritické oblasti mezi Jezerkou a Jezeřím (obr. 1) již postoupila natolik k úpatí Krušných hor, že mnohde zasáhla úpatní poruchové zóny krušnohorského zlomu (Marek 1994a). Při samotném úpatí Jezerky a Je-



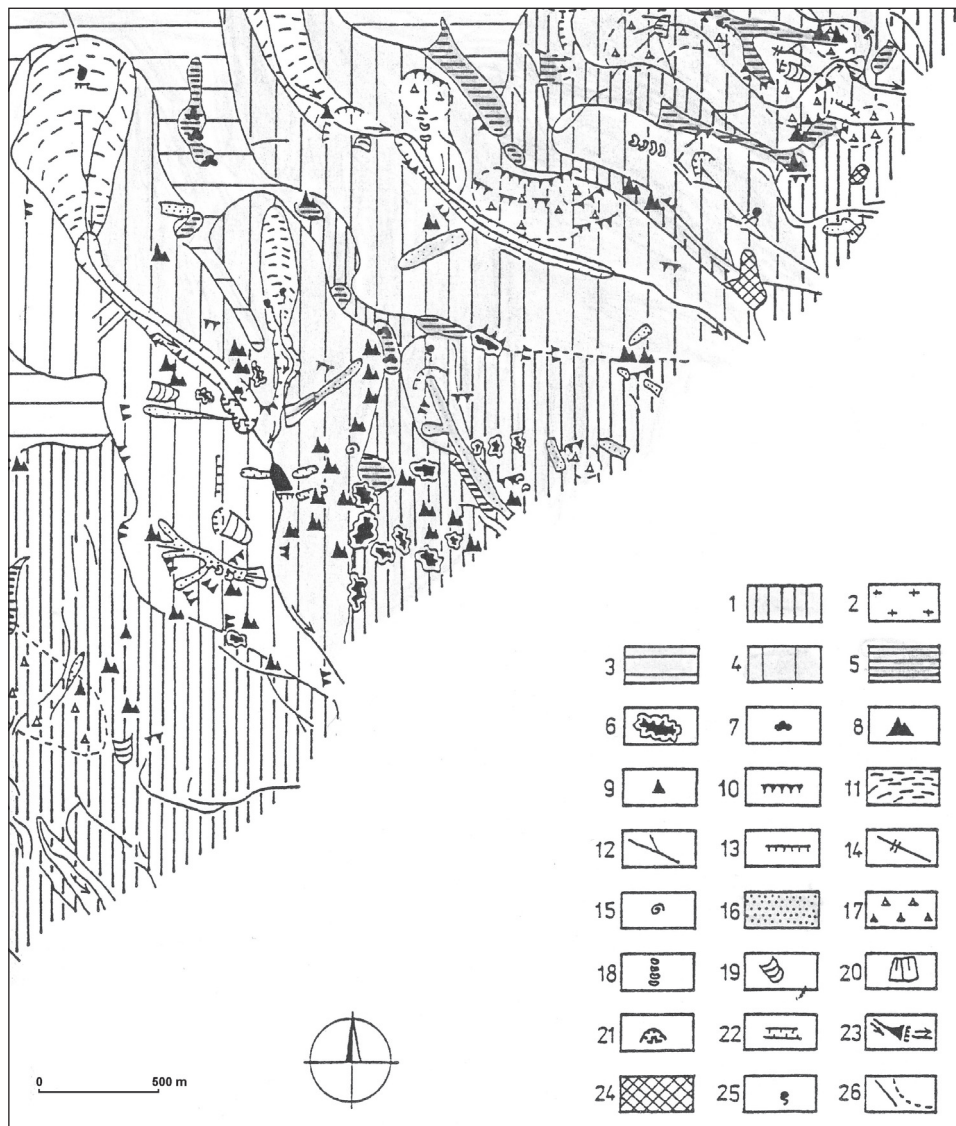
Obr. 1 – Situace v okolí zámku Jezeří. Z mapy je patrná poloha velkolomu ČSA i poloha zkoumaných stromů (datový podklad ZABAGED).

zeří jsou sice zachovány ochranné pilíře (v případě Jezerky byl v 80. letech výrazně zredukován), ale ve zbylých oblastech již je závěrný svah lomu situován v blízkosti poruchových zón. Odkrývání desítek, místy i stovek metrů mocných nadložních vrstev ovlivňuje stabilitu svahu a svahové pohyby. Z hlediska stability svahu zcela jednoznačně v takových případech sehrávají zásadní roli významná změna relativní výšky a sklonu svahu. Během těžby bylo odtěženo značné množství sedimentů pánve, řádově jde o miliardy tun materiálu, Zmítko (1983) uvádí obrat cca 400 mil. tun zemské hmoty za rok. Takové odlehčení paty svahu je spojené se změnou napětí uvnitř svahu, což může podle Pichlera (1998) vést k nárůstu působení aktivních smykových sil a tak vést k destabilizaci svahu. Hurník (1982b) uvažuje, že takto výrazné odlehčení krystalinika pánevní oblasti by mohlo zapříčinit lokální oživení endogenních pohybů. Odtěžením všech pánevních sedimentů a obnažením poruchové zóny by mohlo dojít k výraznější destabilizaci a pohybům jednotlivých bloků krystalinika, včetně bloku se zámkem. Případné odtěžení stabilizačního pilíře může způsobit právě takovouto destabilizaci vlastního masívu. Případné pohyby podloží vlivem odlehčení by také mohly způsobit slabá antropogenní zemětřesení, která by mohla mít za následek destabilizaci svahů. Výsledkem by tak byla zvýšená svahová aktivita. Anomální pohyby některých sledovaných bodů nivelačního pořadu *Z₂b 11* založeného v 80. letech, v období podzimu 1988 a jara 1989 dávají Kalvoda a kol. (1994) do souvislosti se zemětřesením poblíž německého Bag Sulzungenu (13. 3. 1989). Kloss (1994) na základě analýzy výsledků MKP potvrzuje pohyby masívu nejen směrem vzhůru, ale také pohyby krystalinika směrem do pánve. Intenzitu těchto pohybů dává do přímé souvislosti s množstvím odstraněných sedimentů.

Dále je nutné brát zřetel na specifika spojená s přítomností uhelné sloje, která se zde, na rozdíl od neuhelných svahů, uplatňují (Záruba, Mencl 1987). Především se jedná o nižší pevnost uhelných jílu ve smyku, která se rovná 20–40 % smykové pevnosti jiných hornin. Oproti jiným zeminám má uhlí malou měrnou tíhu, díky čemuž se v mnohem větší míře uplatňuje vzlak podzemní vody na nadložní souvrství a jejich destabilizaci.

3. Metody

Dendrogeomorfologie využívá poznatků dendrochronologických metod k datování konkrétních geomorfologických událostí. Možnosti využití dendrochronologických metod na poli geomorfologického výzkumu demonstrovalo již mnoho autorů, např. Braam a kol. (1987a, b), Strunk (1997), Bodoque a kol. (2005), McAullife a kol. (2006), Stoffel a kol. (2005a, b), Stoffel (2006), Stoffel a Perret (2006), z českých např. Daňhelka (2001), Burda (2008), Žížala a kol. (2010). Analýzou růstu letokruhů je možné rekonstruovat začátek, dobu trvání, rozsah a frekvenci mnoha geomorfologických procesů (Strunk 1997) – sesuvů, řícení, suťových a zemních proudů, půdotoků, různých typů sedimentace, eroze nebo povodní. Tyto události ovlivňují růst stromů odlišně, svahové pohyby mohou vegetaci ovlivnit následujícím způsobem: nakloněním kmene stromu, poškozením kořenů nebo kmenového dřeva, zasypáním kmene stromu, obnažením kořenového patra, korazí (poškozením kůry a kambia cizími předměty), zvýšením vodního deficitu, zaplavením stromu. Vegetace může na tyto událos-



Obr. 2 – Geomorfologická skica širšího okolí zámku Jezeří. 1 – geomorfologicky výrazné strukturální svahy, 2 – vyvýšené povrchy, 3 – denudační svahy, 4 – erozně-denudační svahy, 5 – hlavní vrcholy a hřbety, 6 – skalní stěny, malé hřbety a skupiny skalních výchozů, 7 – izolované skalní výchozy a stěny, 8 – skalní výchozy ve svahu, 9 – skalní věže, 10 – mrazové sruby, 11 – pramenné pánve, 12 – erozní rýhy s občasnými toky, 13 – výrazně okraje erozních stupňů, 14 – výrazné údolní stupně, 15 – sufozní deprese, 16 – proluviální sedimenty, 17 – kamenná suť, 18 – dejekční kužel, 19 – skluzy, 20 – polygenetické akumulace, 21 – skalní deprese a jámy, 22 – soutěsky, 23 – vodní plochy, 24 – antropogenní reliéf, 25 – prameny, 26 – hranice tvarů reliéfu - plnou čarou a domnělé hranice čárkovanou čarou (Kalvoda et al. 1994).

ti reagovat uhynutím, zvýšením růstu, poklesem růstu, tvorbou reakčního dřeva a produkcí excentrických letokruhů, neobvyklým pučením, sukcesí daného stanoviště, bočním přerůstáním rány a vznikem korazní jizvy (Braam, Weiss, Burrough 1987a).

3.1. Odběr vzorků

Pro účely výzkumu bylo ve sledované lokalitě, v úseku mezi vrchem Jezeří (mnohdy terminologicky ne zcela správně označovaném jako Jezerka) a zámeckým areálem Jezeří (300–650 m n. m.) odebráno celkem 108 vzorků z 50 stromů (35 stromů bylo vybráno k vlastní analýze svahových pohybů, zbylých 15 stromů k sestavení referenční křivky). Pro podchycení nejstarších událostí byly vybrány stromy nejmohutnější – nejstarší. Ve zvoleném území se tedy jednalo o buky lesní (*Fagus sylvatica* – FASY). Pro odběr vzorků byl použit přírůstkový vrták délky 500 a 700 mm (obr. 3D).



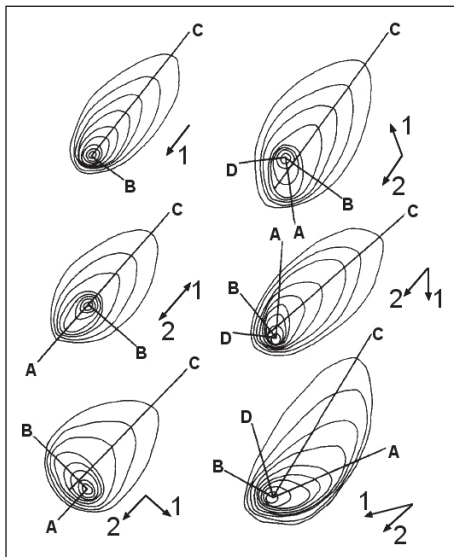
Obr. 3 – Příklad stromu, jehož kmen byl nakloněn vlivem ploužení kvartérních pokryvných útvarů. V následujících letech došlo k charakteristickému prohnutí kmene vlivem excentrického růstu letokruhů (A, B). Skrývkové svahy VČSA zasahující hluboko do zalesněné partie Krušných hor (C). Odběr vzorku za pomoci přírůstkového vrtáku délky 700 mm (D). Polomy, které byly ve svahu bezprostředně nad zámekem Jezeří způsobeny letní vichřicí v červenci roku 2005. V pozadí lomové pole VČSA (E). Foto: J. Burda.

Z každého stromu byly odebrány dva až tři vzorky. Dva vzorky byly odebrány kolmo na vrstevnici, směrem do svahu (A) a po svahu (C). Kolmo na vzorky A a C byl pak odebrán vzorek B. Ze stromů nakloněných výrazně pouze v jednom směru byly odebrány pouze vzorky B a C, popř. A a B. Stromy, u nichž dominantní směr naklonění, nebylo možné s určitostí posoudit, byly odebrány všechny tři vzorky, díky nimž je možné získat poměrně přesnou představu o případné excentricitě nebo rozvolnění letokruhů v jednotlivých etapách růstu stromu, jak udávají Braam, Weiss, Burruogh (1987b; viz obr. 4).

Základem každého dendrogeomorfologického výzkumu je referenční chronologie, která je při identifikaci růstových disturbancí nepostradatelná. Proto je třeba vhodnému výběru stromů věnovat velikou pozornost, při volbě stromů bychom měli dodržet obecně známá pravidla: 1. vybíráme stromy rostoucí v okolí zkoumaného stanoviště, 2. u zkoumaného stromu nepozorujeme růstové disturbance, 3. vybíráme stromy nejstarší, nejlépe solitérní. Zásady správného postupu při výběru vhodných stromů a následném vyhodnocení najdeme v ucelených dílech Cooka a kol. (1993), nebo Jandy (2008). Pro potřeby této studie bylo z 15 stromů, rostoucích mimo zájmové území, odebráno 15 kontrolních vzorků. Tyto vzorky byly odebrány vždy ve směru po vrstevnici. Kontrolní vzorky byly využity pro sestavení referenční křivky, s níž byly porovnávány vzorky ze zkoumaného území.

Pro vlastní výzkum byly potom naopak vytipovány stromy jevící největší růstové disturbance. V tomto případě byly stanoveny následující podmínky: 1. růstové anomálie jsou prokazatelně způsobeny zkoumaným jevem (v tomto případě svahovým pohybem), 2. na daném stanovišti volíme stromy pokud možno nejstarší (eliminujeme tak šumy způsobené např. konkurenčním bojem a získáme dlouhý časový dosah).

V průběhu výzkumu byly vynechány stromy sice nakloněné, ale rostoucí na erozních svazích potočních údolí. Takto byly eliminovány stromy, u nichž bylo naklonění kmene způsobené erozní činností horských potoků. Taktéž jsme vyrádili stromy rostoucí v bezprostřední blízkosti cest, které zde v několika místech podřezávají svah. Do výzkumu také nebyly zahrnuty stromy, jejichž kmeny byly v okolí místa případného vývrtnu postiženy korazí.



Obr. 4 – Příčný řez kmenem nakloněného listnatého stromu. Reakční dřevo se tvoří ve směru naklonění stromu u nahosemenných dřevin, u krytosemenných dřevin ve směru opačném. Šipky indikují (následně) směry naklonění stromu, rovné čáry představují optimální směr odběru vzorku (upraveno podle: Braam, Weiss, Burruogh 1987b).

3.2. Zpracování vzorků

Odebrané vzorky bylo nutné před vlastním vyhodnocením zpracovat. Jednotlivé vývrty bylo třeba nejprve nechat několik dní vyschnout, takto vyschlé vzorky byly vlepeny do dřevěné lišty a následně zbrušeny smirkovým papírem. Tím jsme docílili odstranění povrchové části vzorku, která je ve většině případů poškozena třením vnitřní strany vrtáku o dřevěnou hmotu. Při zbrušování vzorků je třeba brát zřetel na to, abychom odstraňovali vrstvu dřeva ze správné strany vzorku a nedošlo ke „zbrúšení letokruhů“.

3.3. Vyhodnocení vzorků

Analýza a vyhodnocení vzorků bylo provedeno za pomoci programu Past4 a měřicí aparatury TimeTable, umožňující přesné měření šíře letokruhu. Byla posuzována excentricita jednotlivých letokruhů v daném roce a náhlé růstové změny. U stromů vykazujících v daném roce excentrický růst lze předpokládat naklonění stromu. Pro zjištění excentrického růstu byly porovnávány vzorky *B* a *C*, pokud některý z těchto vzorků chyběl nebo byl nečitelný, byly použity vzorky *A* a *B*.

Excentricita letokruhů byla vyhodnocena letokruhovou analýzou odebraných vzorků z jednotlivých stromů. Porovnáním šířky dvou letokruhů získaných vzorků byla pro každý rok vypočtena excentricita (E_i). Numerický výpočet excentricity navrhl již Alestalo (in: Braam, Weiss, Burruogh 1987a), který porovnává vzorky *A* a *C* (viz rovnice 1–3 níže). Modifikaci této formule podávají Braam, Weiss, Burruogh (1987a), kteří navzájem porovnávají vzorky *A* a *B*. Důvodem pro nahrazení původního vzorku *C* vzorkem *B* je snaha eliminovat možnou chybu vzniklou chybným vyhodnocením letokruhů vzorku *C*. Při naklonění kmene a vzniku excentrických letokruhů dochází v části kmene k výraznému zhuštění letokruhů. Někdy se mohou i při velikém zvětšení některé letokruhy zdát nečitelné, a může tak dojít k nechtěnému vynechání některého letokruhu. Porovnáním vzorku *A* se vzorkem *B* se významně eliminuje možnost této chyby při vyhodnocování (Braam, Weiss, Burruogh 1987a).

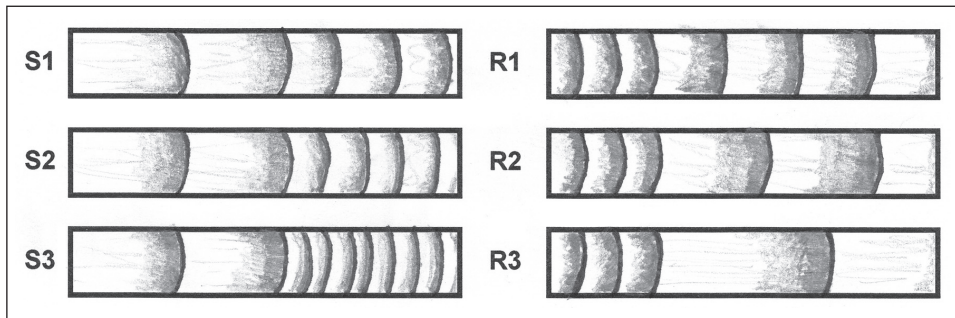
$$E_i = R_a / (R_a + R_c) \quad (\text{Alestalo}) \quad (1)$$

$$E_i = (R_a - R_b) / (R_a + R_b) \quad (\text{Braam}) \quad (2)$$

$$E_i = (R_c - R_b) / (R_c + R_b) \quad (\text{tato studie}) \quad (3)$$

Pro účely této práce byl Braamův vzorec formálně upraven tak, aby byl aplikovatelný pro listnaté stromy, které tvoří reakční dřevo z opačné strany než stromy jehličnaté (vzorek *A* byl tedy nahrazen vzorkem *C*). Braam, Weiss, Burruogh (1987b) však dále uvažují, že strom během svého vývoje může být ovlivněn svahovými pohyby různé dynamiky a směru. Obrázek 4 schematicky ilustruje jednotlivé příklady letokruhů stromů, které byly činností svahových pohybů v průběhu svého růstu nakloněny odlišným způsobem.

Jelikož některé zkoumané stromy skutečně jevily makroskopické známky různého naklání, byla v těchto případech zvlášť posuzována excentricita ze vzorků *BC* a *AB*. Jednoduchým vynesáním hodnot E_i do grafu získáme křivky,



Obr. 5 – Schematické znázornění náhlých růstových změn. Míra poklesu růstu S1 = 40–55 %, S2 = 56–70 %, S3 > 70 %. Míra zvýšení růstu R1 = 50–100 %, R2 = 101–200 %, R3 > 200 %.

jejichž vzájemným porovnáním lze interpretovat průběžné naklánění stromu v jednotlivých letech.

Procento stromů jevících v daném roce naklonění může být užito pro analýzu časoprostorové variability svahového pohybu v zájmové oblasti (Braam, Weiss, Burruogh 1987a). Tuto variabilitu můžeme vyjádřit indexovým číslem (I_i) vypočteným pro každý jednotlivý rok (jak uvádí např. Schroder in: Braam, Weiss, Burruogh 1987a, nebo Fantucci 1999; viz rovnice 4):

$$I_i = (\sum R(k)_i) / (\sum A(k)_i) \times 100 \% \quad (4)$$

Kde I_i = je index aktivity v roce i , $R(k)_i$ = stromy nakloněné v daném roce i , $A(k)_i$ = zkoumané stromy v daném roce i .

Tento vzorec použila i Fantucci (1999), vzorec udává procento letokruhů, které v daném roce jeví excentrický růst. Vynesením hodnot do grafu lze jednoduše popsat časoprostorovou aktivitu svahového pohybu v daném roce i .

Studie rovněž hodnotí náhlé změny růstu mezi jednotlivými letokruhy (obr. 5). Podle Fantucci (1999) byly tyto růstové změny rozděleny do šesti kategorií. Kategorie S1–S3 popisují poklesy růstu, R1–R3 potom zvýšení růstu. Prudké změny růstu indikují reakci stromu na konkrétní změnu okolních podmínek. Poklesem růstu může vegetace reagovat např. na zasypání kmene stromu, nebo na poškození kořenového systému vlivem sesuvu.

Prudké zvýšení růstu je obecně chápáno jako snížení konkurenčního stresu vlivem odstranění okolní vegetace. Růstové změny může rovněž zapříčinit změna podmínek na stanovišti (např. dotace atmosférických srážek, přísun živin). Pro korektní interpretaci těchto změn je nutné zkoumané vzorky porovnat s referenční křivkou a eliminovat vliv suchých popř. extrémně deštivých roků. Stejně jako při analýze excentrických letokruhů byl pro jednotlivé kategorie S_x a R_x počítán index I_i , který charakterizuje aktivitu v daném roce.

3.4. Hodnocení vlivu srážek

Jak bylo zmíněno výše, bylo odebráno 15 vzorků ze stromů rostoucích v okolí vlastní studované oblasti. Tyto stromy by neměly být postiženy svahovými pohyby, proto lze záznamy z těchto stromů využít k eliminaci lokálních vlivů

a chyb vzniklých při vyhodnocování, které by mohly zkreslit výsledky. Díky těmto kontrolním vzorkům lze rovněž odstranit růstové nehomogenity, které mohou být zapříčiněny klimatickými vlivy (zejména suchými roky). Pro hodnocení srážek byly použity srážkové úhrny naměřené v nejbližší situované klimatologické stanici ČHMÚ Boleboř. Stanice je situována v horách cca 7 km od zámku Jezeří v nadmořské výšce přibližně 640 m n. m. Poloha stanice vůči sledované lokalitě není úplně vhodná, ale ostatní klimatologické stanice mají výrazně kratší časový záznam, nebo leží zcela mimo oblast Krušných hor. Datové záznamy ze stanice Boleboř sahají do roku 1955. V letech 1998 a 1999 byl záznam nekompletní, proto byla datová řada v těchto letech doplněna záznamy z nedaleké stanice Křímov. Z klimatických údajů byly vytvořeny grafy ročních srážkových úhrnů a měsíčních srážkových úhrnů ve vegetačním období duben–červenec (obr. 13 a 14).

4. Interpretace dendrogeomorfologických výsledků

Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, k dendrogeomorfologickému výzkumu byly hodnoceny letokruhy celkem z 50 stromů. U 35 stromů byla hodnocena excentricita a náhlé růstové změny v jednotlivých letech. Ačkoliv nejstarší letokruhový záznam sahá do roku 1793, byly svahové pohyby hodnoceny pouze v periodě let 1900–2006. Se zvětšujícím se časovým intervalem od roku 1900 výrazně ubývá počet vzorků, který klesá pod 15. Proto se i výrazně zvyšuje procentuální podíl jednotlivých vzorků v hodnotě I_i .

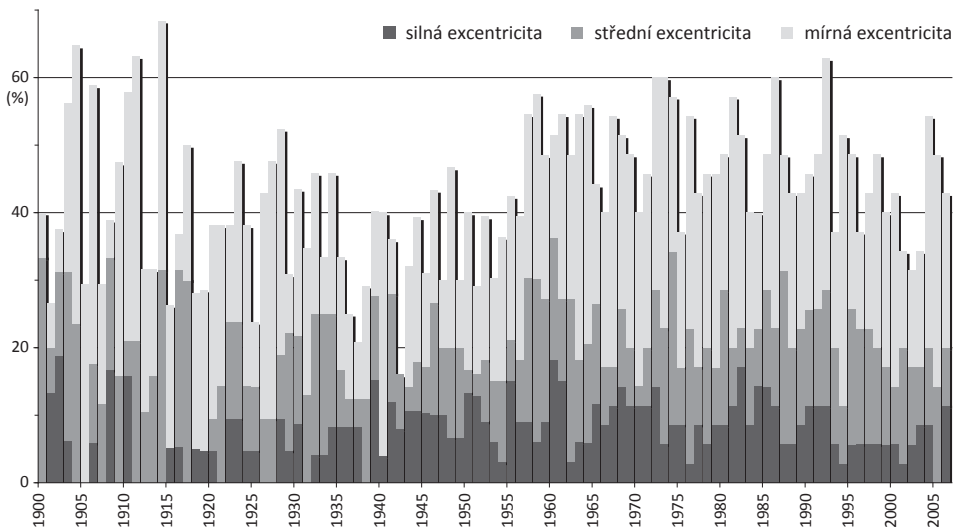
4.1. Hodnocení excentrických letokruhů

Pro posouzení aktivity svahových pohybů byla primárně hodnocena excentricita (E_i) jednotlivých letokruhů v konkrétních letech, která byla počítána ze vzorků C a B a dále ze vzorků A a B . Jelikož však hodnoty E_i počítané ze vzorků A a B byly významné jen ve dvou případech, byly tyto vzorky hodnoceny zvlášť. Pro jednotlivé roky byla vypočtena hodnota I_i . Excentrické letokruhy byly podle hodnot E_i rozděleny do tří skupin (obr. 6).

Z obrázku 6 jsou patrná období zvýšených hodnot I_i , jedná se o roky 1903, 1904, 1906, 1909–1911, 1914, 1923, 1927–1928, 1939–1941. Dále je pozorovatelný vzestup hodnot od roku 1954 vrcholící lety 1958–1964, 1967–1969, 1972–1974, 1981, 1985, 1992 a 2004–2006. Naopak jako období s minimální produkcí excentrických letokruhů se jeví roky 1901, 1915, 1925, 1936–1937, 1942, 1975, 1993, 1995 a 2001–2003.

Jelikož hodnota indexu dosahuje maximálních hodnot 70 %, je jasné, že nedochází k pohybům všech sledovaných partií svahu najednou. Spíše dochází k pohybům v dílčích oblastech sledovaného území. Protože se nejedná o klasickou sesuvnou lokalitu, lze výsledné hodnoty indexu považovat za relativně vysoké (v porovnání např. s Daňhelkou 2001). Zvláště pozoruhodný je nárůst hodnot indexu po roce 1954, kdy klesá hodnota indexu pod hranici 40 % jen v šesti letech.

Pro vhodnější prostorovou interpretaci výsledků byla excentricita E_i hodnocena pro každý strom samostatně. Pro každý strom tak byla vytvořena křivka



Obr. 6 – Hodnoty I_i v jednotlivých letech. Letokruhy rozděleny podle hodnot E_i na mírně excentrické ($E_i = 0,1-0,3$), středně silně excentrické ($E_i = 0,31-0,5$) a silně excentrické ($E_i > 0,5$).

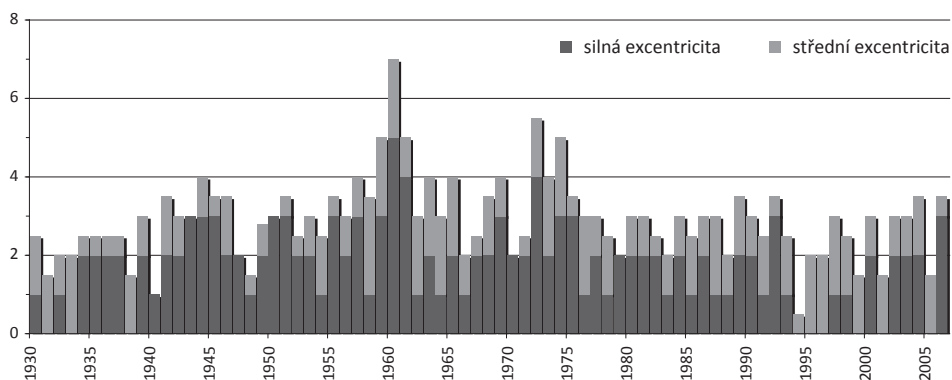
reprezentující hodnoty E_i v daném roce, díky které lze přesně popsat, kdy došlo k naklonění stromu (obr. 7).

Významné růstové disturbance sledujeme především u stromů č. 9–22, 25 a u č. 40. U těchto stromů shodně platí, že rostou v přímém dosahu těžby. Některé stromy dokonce jen několik metrů od závěrné hrany VČSA. Abychom přesněji identifikovali roky, v nichž došlo k zintenzivnění dynamiky svahového pohybu, byly zvlášť hodnoceny letokruhy se silně a středně silně excentrickým růstem. Podle Daňhelky (2001) byly odlišným růstovým anomáliím přiřazeny různé váhy (obr. 8).

Z obrázku 8 je patrné, že největší disturbance se projevují v letech 1958–1960 a 1972–1974. Nárůst disturbance sledujeme od 40. let 20. stol. Z důvodů krátkého časového dosahu některých vzorků (důvodem je nečitelnost vzorků), začíná graf rokem 1930. Výrazný nárůst sledovaných anomálií na konci padesátých let je s velkou pravděpodobností projevem náhlého zrychlení plouživých pohybů. Během nadprůměrně srážkového roku 1958 (obr. 13 a 14) zřejmě došlo ke zvodnění sedimentů a jejich následnému sjíždění, k uklidnění pohybu pravděpodobně došlo až po roce 1960. Původ disturbance z 40. let je také zřejmě způsoben srážkami, které vedly k destabilizaci pokryvných útvarů. Srážkové úhrny z této doby nemáme k dispozici, můžeme tak výsledky porovnat jen s referenční křivkou. Ta ve sledovaných letech vykazuje silné přírůstky, které mohou být způsobeny nadprůměrnými srážkami. S jistotou původ těchto disturbance vysvětlit nelze. Na začátku 70. let se plně rozvinula těžba VČSA, která vějířovitě postupovala směrem ke svahu. V letech 1972–1974 se projevují silné disturbance. Jelikož roky 1972 a 1973 byly srážkově chudé, nelze disturbance se srážkami porovnat. Pravděpodobně jde o reakci svahu na probíhající těžbu. Po roce 1974 došlo nejspíš ke stabilizaci svahu nebo jeho dílčích částí.

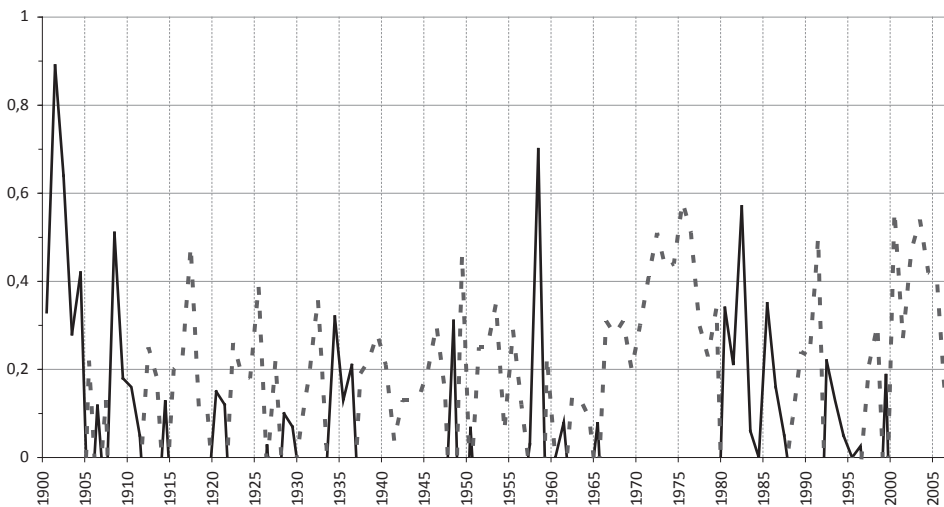


Obr. 7 – Příklad křivky znázorňující vývoj E_i v průběhu růstu stromu. Strom č. 32.

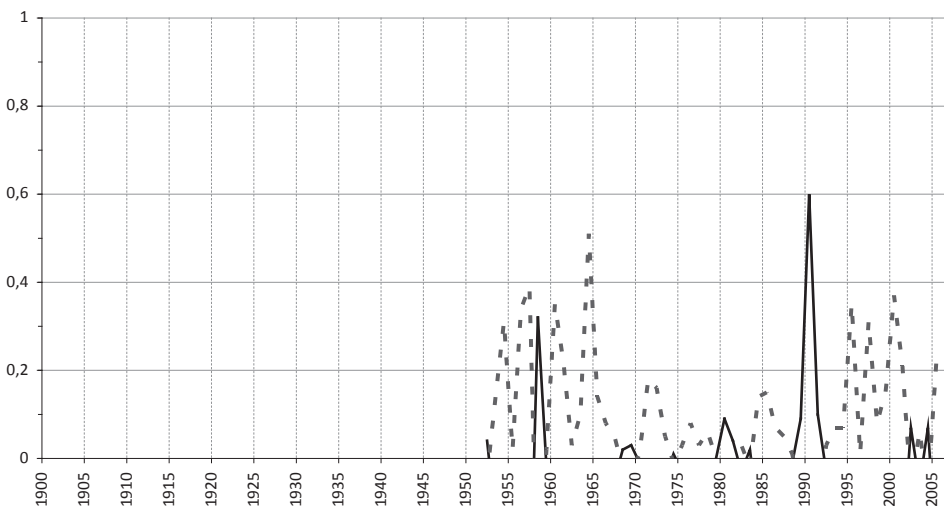


Obr. 8 – Vážený součet excentrických letokruhů. Letokruhům, které v daném roce vykazovaly silně excentrický růst ($E_i > 0,5$) byla přiřazena váha 1, středně silným disturbancím (E_i 0,31–0,5) váha 0,5. Vynesením hodnot do grafu získáme vážený součet excentrických letokruhů. Tmavě – silné disturbance, světle – středně silné disturbance.

Stromy č. 23 a č. 24 byly hodnoceny jako samostatná podskupina. I přesto, že z hlediska výzkumu se jedná o nejzajímavější lokalitu, byly z tohoto místa odebrány pouze dva vzorky (zbylé staré buky lesní zde byly vykáceny). Stromy rostou na zlomovém svahu přímo pod zámekem. Tento svah je výchozem krystalinického bloku, na němž spočívá zámecký areál. Excentrický růst letokruhů by zde mohl indikovat pohyby vlastního bloku a znamenat tak přímé riziko pro stabilitu zámku. Kvůli špatné kvalitě a čitelnosti odebraných vzorků sahá záznam ze stromu č. 24 pouze do roku 1952, záznam stromu č. 23 sahá před rok 1900. Ze stromu č. 24 byly odebrány pouze vývrty *B* a *C*. Vzorek *A* nebylo možné odebrat. Hodnotíme-li excentricitu počítanou ze vzorků *C* a *B*, opět se silně profiluje rok 1958, kdy E_i dosahuje vysokých hodnot v obou případech. Další



Obr. 9 – Křivka znázorňující hodnoty E_i v průběhu růstu stromu. E_i (C–B) vyznačena plnou čarou, E_i (A–B) vyznačena čárkovaně. Strom č. 23.



Obr. 10 – Křivka znázorňující hodnoty E_i v průběhu růstu stromu. E_i (C–B) vyznačena plnou čarou, E_i (B–C) vyznačena čárkovaně. Strom č. 24.

společný vrchol představuje rok 1980, který však v obou případech nedosahuje již tak vysokých hodnot jako rok 1958. U stromu č. 23 (obr. 9) se excentrický růst projevuje v letech 1901, 1904, 1908, 1917, 1934–1936 a 1948.

Mnohem zajímavější je výpočet excentricity ze vzorku *A* a *B*. Jelikož ze stromu č. 24 se nepodařilo odebrat vzorek *A*, byla tato „inverzní“ excentricita počítána rozdílem vzorků *B* a *C*. Vysoké hodnoty této excentricity u obrázku 10 mohou indikovat naklánění stromu proti svahu. Jelikož si, až na rok 1958, nejsou křivky podobné, je pravděpodobné, že růstové anomálie nebyly způso-

beny svahovým pohybem. Hodnocení pouhých dvou vzorků z této lokality se ukázalo jako nedostačující a není možné exaktně určit, jaký faktor způsobil růstové disturbance a jak je interpretovat.

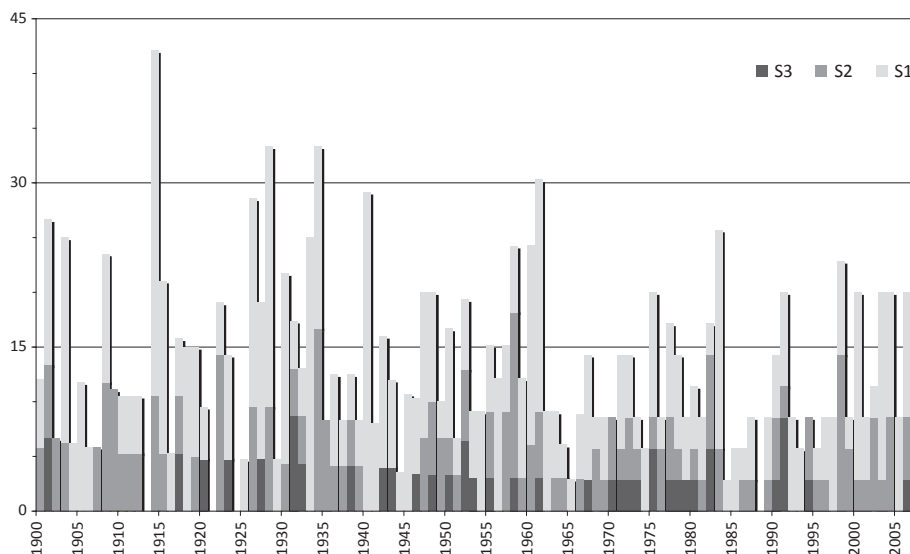
4.2. Hodnocení náhlých růstových změn

Dále byla pozornost při hodnocení svahových pohybů věnována náhlým růstovým změnám, které vypovídají o změně podmínek na daném stanovišti. Podle klíče popsaného v kapitole 3.3. byly tyto růstové disturbance rozděleny do šesti kategorií: S1–S3 a R1–R3. Pro hodnocení růstových změn byl vždy použit vzorek *B*, který by měl být minimálně ovlivněn tvorbou reakčního dřeva. V případě, že strom v daném roce produkoval reakční dřevo, pak by se právě na vzorku *B* měl projevit pokles růstu způsobený vlivem excentrického růstu. V grafu by se pak tyto roky měly shodovat s obdobím vzniku excentrických letokruhů. Obrázek 11 zobrazuje hodnoty indexu I_i pro letokruhy jevící poklesy růstu.

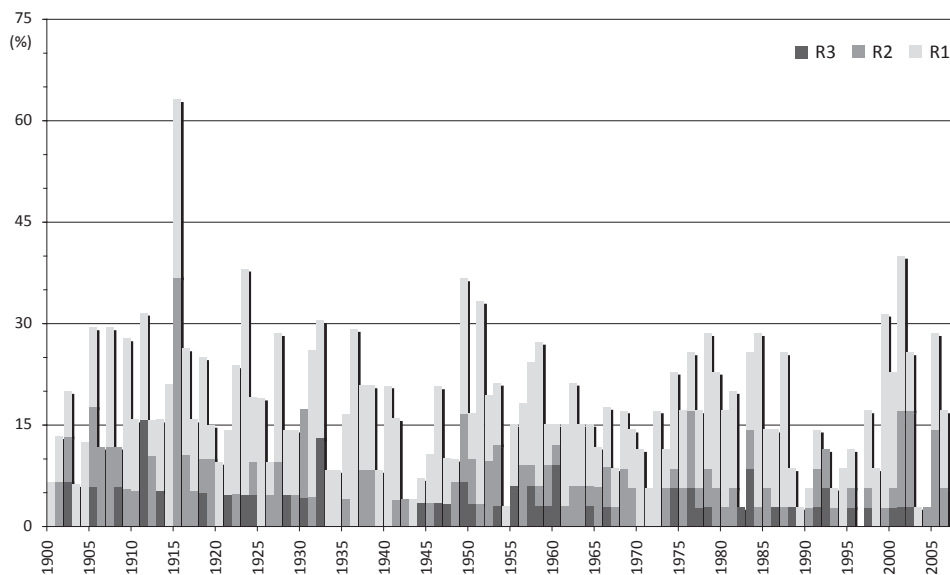
Jak je z uvedeného obrázku 11 patrné, dominuje kategorie S1. Kategorie S3 a S2 jsou zastoupeny zřetelně méně. Opět lze vypočítat zvýšené hodnoty I_i v letech 1914, 1926, 1928, 1933–1934, 1940, 1958–1961, 1983, 1991. Výrazný nárůst hodnot indexu v těchto letech lze dát do souvislosti se vznikem excentrických letokruhů, poškozením kořenového systému vlivem sesuvu, suchými roky.

Roky 1914, 1926, 1934, 1940, 1958, 1961, 1991 se shodují se silnými roky z obrázku 6. Anomálie v těchto letech lze považovat za projev svahového pohybu, který vedl k naklonění stromu a vzniku excentrických letokruhů.

Obrázek 12 prezentuje podíl zkoumaných letokruhů, které v daném roce jevily zvýšení růstu. Barevně jsou opět odlišeny jednotlivé kategorie R1–R3.



Obr. 11 – Index I_i . Kategorie S1–S3 charakterizující poklesy růstu.



Obr. 12 – Index I_i . Kategorie R1–R3 charakterizující zvýšení růstu.

Největších hodnot nabývá index v letech 1917, 1923, 1932, 1936, 1949, 1951, 1958, 1978, 1984 a 1999, 2001.

Nepředpokládáme, že by vlivem svahových pohybů v dané lokalitě mohlo dojít k růstovému uvolnění zkoumaných stromů. Růstové uvolnění může být ale zapříčiněno jinými vlivy, nejpravděpodobnějšími se jeví antropogenní zásahy, konkrétně kácení okolních stromů, nebo klimatické vlivy.

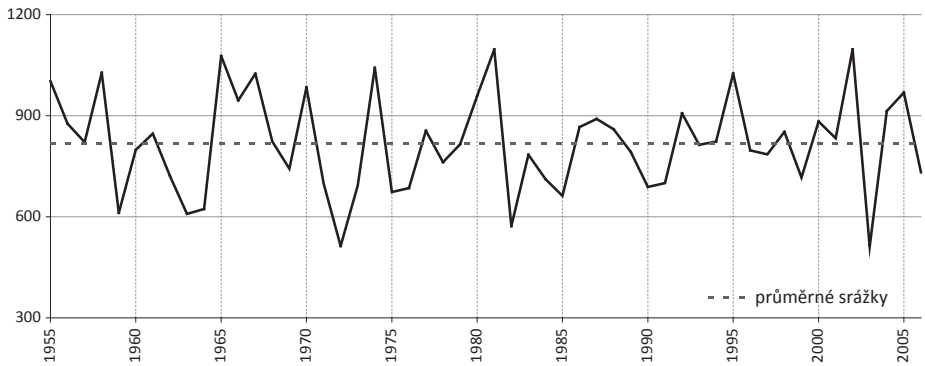
4.3. Porovnání výsledků s dlouhodobým úhrnem srážek a referenční křivkou

Jedním z klíčových faktorů, které ovlivňují tvorbu a šířku letokruhů stromu, jsou atmosférické srážky. V této části se pokusíme dešifrovat, jakým způsobem srážkové extrémy ve sledované lokalitě ovlivňovaly tvorbu letokruhů. Jak bylo zmíněno v kapitole 2, intenzita srážek navíc ovlivňuje stabilitu sedimentů i při úpatí vlastního masivu.

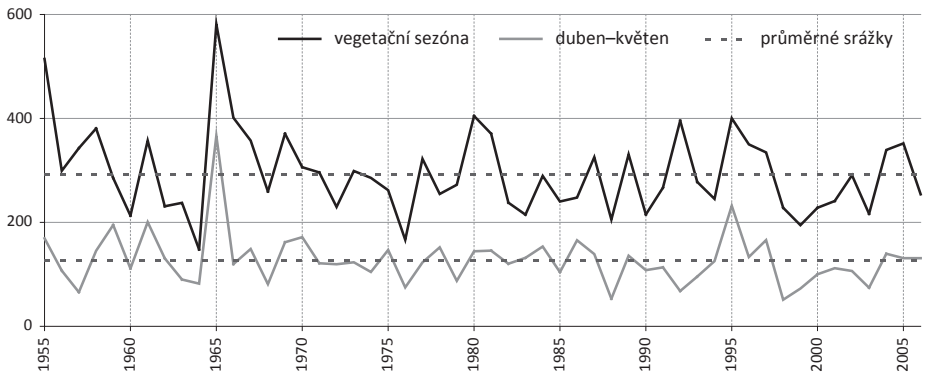
Obrázek 13 prezentuje roční srážkové úhrny od roku 1955 do roku 2006. Jako nejsušší období se profilují roky 1959, 1963, 1964, 1972, 1983, 1986 a rok 2003. Roky 1955, 1958, 1965, 1967, 1970, 1974, 1977, 1980, 1981, 1987, 1992, 1995 a dále léta 2001, 2005 jsou léta s výrazně nadprůměrnými srážkovými úhrny.

Pro růst stromu jsou nejpodstatnější srážkové úhrny ve vegetačním období. V tomto období může strom úměrně reagovat na množství srážek tvorbou různě mocných přírůstků. Obrázek 14 ilustruje množství srážek spadlých ve vegetačním období (duben–červenec) a srážek spadlých během dubna a května, kdy dochází k nejdynamičtější tvorbě dřevní hmoty.

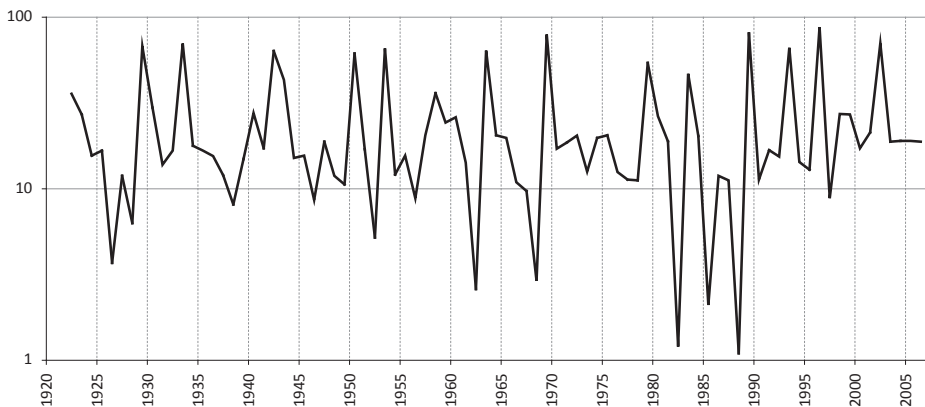
Z obrázku 14 vyplývá, že na srážky chudé roky 1963, 1964, 1972, 1983, 1986 a 2003 byly srážkově podprůměrné i ve vegetačním období. Srážkově podprů-



Obr. 13 – Roční srážkové úhrny (osa y, v mm) od r. 1955, stanice Boleboř. Pro roky 1998 a 1999, kdy byla datová řada z této stanice nekompletní, byly použity hodnoty naměřené ve stanici Křímov. Zdroj: ČHMÚ.



Obr. 14 – Srážkové úhrny (osa y, mm) ve vegetačním období (tmavá křivka) a srážkové úhrny za duben a květen (světlá křivka). Pro roky 1998 a 1999 byly hodnoty ze stanice Boleboř doplněny měřením ze stanice Křímov. Zdroj: ČHMÚ.



Obr. 15 – Referenční křivka, jako metoda standardizace byl zvolen „double detrending“. Logaritmické měřítko osy y je uvedeno v milimetrech.

měrně se jeví dále roky 1960, 1962, 1976, 1982, 1988 a období let 1998–2001. Srážková maxima se ve většině případů shodují, k nejdeštivějším letům patří roky 1955, 1965, 1967, 1980, 1981, 1987, 1992, 1995, dále potom léta 1961, 1969, které však byly nadprůměrné pouze ve vegetačním období. Oproti ročním úhrnům jsou ve vegetačním období nízké srážkové úhrny v letech 1970, 1977 a 2001.

Disturbance typu pokles/zvýšení růstu mohou být ovlivněny rozdílným přísunem srážek. V období, kdy pozorujeme největší meziroční rozdíly srážkových úhrnů, lze rovněž předpokládat největší růstové disturbance. Největší meziroční rozdíly srážkových úhrnů pozorujeme v letech 1956, 1962, 1965, 1976, 1977, 1980, 1982, 1988, 1989, 1992, 1993, 1995, 1998 a 2003. Pro objasnění reakce vegetace na toto meziroční kolísání srážkových úhrnů byly kritické roky porovnány s referenční křivkou (obr. 15).

Z výše uvedeného vyplývá, že vegetace citlivě reaguje na nízké srážkové úhrny, či výrazné meziroční srážkové rozdíly. Naopak roky, v nichž došlo k výrazným meziročním nárůstům srážkových úhrnů, nebo v letech, kdy byly srážkové úhrny nadprůměrné, se zvýšením růstu u místní vegetace výrazně neprojevují. Porovnáme-li referenční křivku s obrázkem 11, který udává roky, v nichž došlo k poklesu růstu, zjistíme, že jsou si podobné. Obrázek 11 dosahuje největších hodnot I_i v letech 1926, 1928, 1934, 1940, 1961, 1983 a 1998. Kromě roku 1928 se všechny zmíněné roky shodují s poklesy růstu čitelnými na referenční křivce. Poklesy růstu ve výše zmíněných letech tak pravděpodobně nesouvisí s činností svahového pohybu. Obdobná závislost platí i pro náhlé zvýšení růstu. Roky 1932, 1949, 1951, 1958 a 1984, které na obrázku 12 vykazují vyšší hodnoty I_i , se v referenční křivce profilují jako roky s vyššími přírůstky. Výjimkou jsou roky 1927 a 2001, kdy se zvýšené hodnoty I_i na obrázku 12 s referenční křivkou neshodují. Můžeme konstatovat, že většina náhlých růstových změn je způsobena klimatickými vlivy. Růstové disturbance z let 1927, 1928 a 2001 lze dát do souvislosti s jinými než klimatickými vlivy.

5. Závěr

Pro potřebu vlastního dendrogeomorfologického výzkumu bylo vybráno celkem 50 stromů. Vzorky z 15 stromů byly použity pro tvorbu lokální referenční křivky pro danou lokalitu. U zbylých 35 stromů byl hodnocen excentrický růst letokruhů a náhlé růstové změny. Vzorky byly odebrány ze stromů jevících makroskopicky největší růstové disturbance. V našem případě jde o stromy, které byly nejvíce nakloněné nebo stromy jevící známky naklonění v průběhu jejich předchozího růstu. Z většiny zkoumaných stromů bylo odebráno po dvou až třech vzorcích, letokruhovou analýzou těchto vzorků byly hodnoceny růstové disturbance. Z výzkumu byly vynechány stromy, které sice jevily makroskopické známky naklonění, k němuž ale došlo jinými vlivy (např. boční erozi horských potoků, podříznutím svahu cestou).

V období let 1900–2006 sledujeme u většiny zkoumaných stromů růst excentrických letokruhů a to zejména v letech 1903–1904, 1906, 1909–1911, 1914, 1927–1928, 1958–1964, 1967–1969, 1972–1974, 1981, 1985, 1991–1992 a 2004–2006. Tyto roky se shodují s léty, v nichž pozorujeme i častý výskyt letokruhů jevících pokles růstu. Při hodnocení excentricity byly zkoumané le-

tokruhy rozděleny do tří skupin (silně excentrické, středně silně excentrické, mírně excentrické). Obrázek 6 dokazuje, že převládají letokruhy s mírnou excentricitou (hodnoty E_i 0,1–0,3). Toto lze vysvětlit tím, že k naklánění stromů dochází pomalu, ve sledované lokalitě nejpravděpodobněji ploužením kvartérních sutí či nezpevněných proluviálních sedimentů. Vznik výrazně excentrických letokruhů lze u většiny stromů dát do přímé souvislosti se svahovými pohyby. Pouze u stromů č. 3 a č. 35 lze spolehlivě konstatovat, že naklonění stromu je výsledkem konkurenčního boje. Z důvodu nedostatku a špatné kvality vzorků není možné u stromů č. 23 a č. 24 přesně určit příčiny vzniku výrazných růstových disturbancí. V letech 1958–1960 a 1972–1974 došlo u stromů č. 9–22, 25 a 40, které rostou při úpatí svahu, k významnému nárůstu silných disturbancí. Ty jsou projevem náhlého zvýšení dynamiky svahového pohybu, který má zřejmě charakter ploužení. V prvním případě se jako spouštěcí faktor uplatnily srážky. Ve druhém případě došlo k lokální destabilizaci svahu zřejmě odlehčením paty svahu vlivem těžby. Dále se prokázalo, že k pohybům nedochází současně v celém zkoumaném území, nýbrž že se setkáváme s pohyby dílčích částí svahu.

Abychom vyloučili chybnou interpretaci růstových anomálií v jednotlivých letokruzích, byly zmíněné výsledky porovnány se srážkovými údaji ze stanice Boleboř. Dále byly srážkové úhrny porovnány s referenční křivkou. Prokázalo se, že vegetace velmi citlivě reaguje na nedostatek srážek, naopak srážková maxima se v referenční křivce výrazněji neprojevují. Tímto srovnáním jsme vyselektovali letokruhy, které ve sledovaných letech vykazovaly růstové disturbance, jež ale byly způsobeny vlivem suchých let. Na základě výše zmíněných údajů můžeme konstatovat, že růstové anomálie v letech 1927, 1940, 1961, 1968, 1988, 1991 a 1998 nejsou projevem svahového pohybu. Hodnocení srážkových úhrnů potvrdilo, že k destabilizaci pokryvných útvarů dochází zejména v letech s nadprůměrnými srážkovými úhrny nebo v letech následujících. Celkově tak tyto výsledky korespondují s předešlými závěry, že srážky působí jako spouštěcí impuls a destabilizují svah. Jako nejdynamičtější modelované území se jeví oblast při úpatí svahu, kde jsou kvartérní sedimenty nejmocnější. U stromů rostoucích v této partii pozorujeme největší excentricitu a značnou sensitivitu na nadprůměrné srážkové úhrny.

Použitou metodu lze považovat za vhodnou a spolehlivou. Práce prokázala naklánění stromů působením svahových pohybů, především plouživých pohybů. Z důvodu nedostatku kvalitních vzorků odebraných ve svahu pod zámek Jezeří se nepodařilo prokázat svahové pohyby přímo ohrožující zámecký komplex. Nelze je však ani vyloučit. Silné růstové disturbance zde prokázány byly, ale nebylo možné určit jejich původ. Vzorky ze stromů byly odebrány pouze v modelových lokalitách, které reprezentují nejproblematictější partie svahu. Pro detailní charakteristiku svahových pohybů v celém svahu by bylo ideální odebrat více vzorků napříč celým sledovaným územím. Do výzkumu by bylo vhodné zahrnout i jiné druhy stromů rostoucích v lokalitě, především duby. Pro posouzení stability skalního bloku, na němž spočívá zámek, a na stabilitu ochranného pilíře by bylo vhodné provést podrobný dendrogeomorfologický výzkum v prostoru zámeckého arboreta.

Literatura:

- BRAAM, R. R., WEISS, E. J. J., BURRUOGH, P. A. (1987a): Spatial and temporal analysis of mass movement using dendrogeomorphological. *Catena*, 14, Braunschweig, s. 573–584.
- BRAAM, R. R., WEISS, E. J. J., BURRUOGH, P. A. (1987b): Dendrogeomorphological analysis of mass movement: a technical note of the research method. *Catena*, 14, Braunschweig, s. 585–589.
- BODOQUE, J. M., DÍEZ-HERRERO, A., MARTÍN-DOQUE, J. F., RUBIELAS, J. M. (2005): Sheet erosion rates determined by using dendrogeomorphological analysis of exposed tree roots: Two examples from Central Spain. *Catena*, 64, s. 81–102.
- COOK, E. R., KAIRIUKSTIS, L. A. (1993): *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Science*, International Institute for Applied System Analysis, Dordrecht, Netherlands, 394 s.
- DANHELKA, J. (2001): Dendrogeomorfologický výzkum sesuvné lokality u Čeraniště. *Geografie*, 106, č. 3, s. 166–177.
- FANTUCCI, R. (1999): Dendrogeomorphology in Landslide Analysis. In: Casale, R., Margotini, C.: *Floods and Landslides: Integrated Risk Assessment*. Springer, Risk assessment, s. 69–82.
- HAAS, K. (1998): Hlavní činnost VÚHU, a. s. Most v oboru hydrogeologie minulého období. In: Valášek, V. a kol.: 45 let Výzkumného ústavu pro hnědé uhlí v Mostě, Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a. s., Most, s. 102–107.
- HORÁČEK, M. (1994): Srovnání poznatků o průzkumných důlních dílech mezi Jezerkou a Horním Jiřetínem v Krušných horách. *Sborník geologických věd, ŘHIG*, 20, s. 45–51.
- HURNÍK, S. (1982a): Krušnohorský zlom a jeho interpretace. *Mineralogie a geologie*, 28, č. 4, s. 445.
- HURNÍK, S. (1982b): Endogenní geologické procesy a rozvoj velkolomů v severočeské hnědouhelné pánvi. *Geologický průzkum*, č. 5, Praha, s. 129–131.
- HURNÍK, S. (1969): Příspěvek ke geologické problematice tzv. Komořanského jezera. In: *Příroda Mostecko–Litvínovsko. Regionální studie*, č. 6, Dialog, Most, s. 5–14.
- JANDA, M. (2008): Letokruhová chronologie smrku pro východní Krkonoše. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha, 72 s.
- KALVODA, J., VILÍMEK, V., ZEMAN, A. (1994): Earth's surface movements in the hazardous area of Jezeří Castle – Krušné hory mountains. *Geojournal*, 32, č. 3, s. 247–252.
- KLOSS, K. (1994): Stabilita svahu uhelného velkolomu stanovená metodou konečných prvků. *Sborník geologických věd, ŘHIG*, 20, Praha, s. 39–44.
- KRÁL, V. (1968): Geomorfologie vrcholové části Krušných hor a problém paroviny. *Rozpravy Československé akademie věd*, 78, č. 9, s. 42–49.
- MALKOVSKÝ, M. a kol. (1985): *Geologie Severočeské hnědouhelné pánve a jejího okolí*. Academia, Praha, 424 s.
- MAREK, J.: (2006): Jezeří znovu v ohrožení? *Geotechnika*, část II, č. 1, Praha, 11 s.
- MAREK, J.: (2005): Jezeří znovu v ohrožení? *Geotechnika*, část I, č. 4, Praha, 8 s.
- MAREK, J. (1994): Inženýrskogeologické mapování a geologické poměry v okolí úpatí Krušných hor – Čechy. *Sborník geologických věd, ŘHIG*, 20, Praha, s. 23–37.
- MAREK, J. (1983a): Problematika Jezeří v Krušných horách po provedeném inženýrsko-geologickém průzkumu. *Památky a příroda*, 8, č. 4, s. 228–237.
- MAREK, J. (1983b): Inženýrsko-geologický průzkum stability zámku Jezeří v předpolí uhelného velkolomu. *Geologický průzkum*, 25, č. 8–9, s. 234–236.
- MAREK, J. (1980): Štolové převedení Šramnického a Černického potoka v Krušných horách. *Geologický průzkum*, 22, č. 9, s. 269–271.
- MAREK, J. (1977): Inženýrskogeologické problémy vyvolané rozšířením uhelných velkolomů k úpatí Krušných hor. *Geologický průzkum*, č. 6, s. 164–166.
- McAULIFFE, J. R., SCUDERI, L. A., McFADDEN, L. D. (2006): Tree-ring record of hillslope erosion and valley floor dynamics: Landscape responses to climate variation during the last 400yr in the Colorado Plateau, northeastern Arizona. *Elsevier, Global and Planetary Change*, 50, s. 184–201.
- PICHLER, E. (1998): Svahové sesuvy na lomech. In: Valášek, V. a kol.: 45 let Výzkumného ústavu pro hnědé uhlí v Mostě. Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a. s., Most, s. 54–64.

- RYBÁŘ, J., KUDRNA, Z. (1979): Inženýrskogeologický výzkum stabilitních poměrů předpolí velkodolu ČSA. Dílčí zpráva za r. 1979, MS Geofond, GF P029974, Praha, 15 s., 7 příloh.
- STOFFEL, M. a kol. (2005a): Analyzing rockfall activity (1600–2002) in a protection forest a case study using dendrogeomorphology. *Geomorphology*, 68, č. 3–4, s. 224–241.
- STOFFEL, M. (2005b): Spatio-temporal variations of rockfall activity into forests – results from tree-ring and tree analysis. *Disertační práce No. 1480. Katedra geověd – geologie, Univerzity Fribourg, GeoFocus 12*, 188 s.
- STOFFEL, M., PERRET, S. (2006): Reconstructing past rockfall activity with tree rings: Some methodological considerations. *Elsevier, Dendrochronologia*, 24, s. 1–15.
- STOFFEL, M. (2006): A Review of Studies Dealing with Tree Rings and Rockfall Activity: The Role of Dendrogeomorphology in Natural Hazard Research. *Natural Hazards*, 39, č. 1, s. 51–70.
- STOFFEL, M., SCHNEUWLYA, D., BOLLSCHWEILERA, M. (2005a): Analyzing rockfall activity (1600–2002) in a protection forest a case study using dendrogeomorphology. *Geomorphology*, 68, č. 3–4, s. 224–241.
- STRUNK, H. (1997): Dating of geomorphological processes using dendrogeomorphological methods. *Catena*, 31, s. 137–151.
- ŠKVR, V. (1975): Geologie české části Krušných hor a Smrčín. *Academia, Praha*, 119 s.
- VALEŠ, J. (1998): Řešení stabilitních problémů na jižním úpatí Krušných hor. In: Valášek, V. a kol.: 45 let Výzkumného ústavu pro hnědé uhlí v Mostě, Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a. s., Most, s. 95–100.
- VÁNĚ, M. (1960): Sutě a sesuvy na úpatí Krušných hor. *Mineralogie a geologie*, 5, č. 2, s. 174–177.
- VILÍMEK, V. (1992): Morfostrukturní vývoj reliéfu kateřinohorské klenby v Krušných horách. *Katedra fyzické geografie a geoekologie PŘF UK, Praha*, 235 s.
- ZÁRUBA, Q., MENCL, V. (1987): Sesuvy a zabezpečování svahů. *Academia, Praha*, 119 s.
- ZMÍTKO, J. (1983): Fosilní sesuvy při podkrušnohorském výchozu pánve. *Hnědé uhlí*, 6, Most, s. 12–24.
- ŽÍŽALA, D., ZVELEBIL, J., VILÍMEK, V. (2010): Using dendrogeomorphology in research on a slope deformation in Běleč, Czech-Moravian Highland (Czech Republic). *AUC Geographica*, 45, č. 2, s. 79–96.

S u m m a r y

DENDROGEOMORPHOLOGICAL ANALYSIS OF MASS MOVEMENT DYNAMICS IN THE JEZERŮ CHATEAU AREA

The aim of this study is to conduct a dendrogeomorphological investigation of mass movement dynamics on south-east slopes of the Krušné Hory Mountains. The study area is situated between Jezerka Hill and Jezeří Chateau and is characterized by extensive anthropogenic relief in the foreground of the mountains. The Československá Armáda Open-pit Mine's side slopes are directly linked to the steep slopes of the Krušné Hory Mountains.

A geomorphological process, such as mass movement, can influence tree growth in different ways. When a tree is tilted, the inclined trunk responds by curving upwards so that vertical growth is maintained. This is caused by the growth of reaction woods – pressure wood (coniferous trees) or tension wood (deciduous trees). Thus characteristic trunk curvature in deciduous trees is caused by the production of tension wood in upper parts of the trunk. Mass movement causes trees to tilt, leading to reaction wood production in the trunk and consequently to eccentric ring growth.

This study presents the results of a tree-ring analysis of 104 core samplings from 50 trees. In a hazard-prone area between Jezerka Hill and Jezeří Chateau (Fig. 1), 89 cores were sampled from 35 tilted trees (*Fagus sylvatica*). Cores from another 15 trees were used to reference chronology creation. For reasons of sample depth, the analysis was limited to the period from 1900 to 2006. During this period, growth disturbances – eccentricity of annual rings and sudden growth changes – were accounted for. Two or three cores were sampled from all trees. We used tree-ring analysis to determine the eccentricity of annual

tree-rings (E_i) as well as an index of temporal activity (I_i). Tree-rings were divided, according to their E_i value, into three categories: strong eccentricity ($E_i > 0,5$), medium eccentricity ($E_i = 0,31-0,5$) and low eccentricity ($E_i = 0,1-0,3$). Identified eccentricities were weighted based on the E_i value, where medium eccentricity received a weight of 0,5 and strong eccentricity a weight of 1. In a similar manner, tree-rings were divided into S1–S3 or R1–R3 categories, according to the intensity of sudden growth changes (Fig. 5).

A reference chronology was created from 15 cores sampled from undisturbed trees. The reference chronology was compared to annual precipitation as well as precipitation during the vegetation season in order to eliminate growth changes caused by climate influences. We used precipitation data series from the nearest CHMI climatological station Boleboř.

We observed strong disturbances during the 1958–1960 and 1972–1974 periods. These disturbances can be affected by open-pit mine progress to the toe of the mountains and to sudden slope destabilization. Correlation between growth disturbances and precipitation confirmed the existence of a relation between mass movement dynamics (the creeping of Quaternary sediments) and climate factors. Disturbances at the end of 1950s were caused by climate factors, while high mass movement “rates” from the 1972–1974 period resulted most probably from mining activities.

Fig. 1 – Situation of SE-facing slope of Krušné Hory Mountains. and the visible positions of sampled trees.

Fig. 2 – Geomorphological sketch map of the Jezeří Chateau area. 1 – geomorphological expressive structural slopes, 2 – bevelled slopes, 3 – denudational slopes, 4 – erosion-denudational slopes, 5 – main summits and ridges, 6 – rock walls, small ridges and a net measure of rock outcrops, 7 – isolated rock summits and rock walls, 8 – rock outcrops on slopes, 9 – rock towers, 10 – frost chills, 11 – spring basins, 12 – erosion gullies with occasional water stress, 13 – expressive margin of erosion cuts, 14 – expressive steps in valley bottom, 15 – suffosion depression, 16 – proluvial sediments, 17 – rock debris, 18 – talus cones, 19 – sliding, 20 – accumulation material of polygenetic orogon, 21 – stone-pit and loam-pits, 22 – hollow-ways, 23 – water reservoirs, 24 – anthropogenous relief, 25 – springs, 26 – boundaries of landform areas actual (full lines) and supposed (dashed lines).

Fig. 3 – An example of a tilted tree resulting from creep. The characteristic trunk curvature is caused by the production of tension wood in the upper part of the trunk (A, B); ČSA open-pit mine’s overburden slopes expanded high up into forested sections of the Krušné Hory Mountains. (C); Core sampling using 700 mm long increment borer (D); A slope upon the Jezeří Chateau deforested in July 2005 by a summer windstorm. ČSA open-pit mine in background (E). Photo J. Burda.

Fig. 4 – Cross section of a trunk at the base of inclined trees. Rings are widest in the opposite direction of inclination. Arrows indicate (successive) tilting directions, straight lines indicate optimal radii for core sampling (adjusted from Braam et al. 1987b).

Fig. 5 – Schematic illustration of sudden growth change. Decreases in growth S1 = 40–55%, S2 = 56–70%, S3 > 70%. Increases in growth R1 = 50–100%, R2 = 101–200%, R3 > 200%.

Fig. 6 – Index I_i , strong eccentricity (black), middle eccentricity (grey), low eccentricity (white).

Fig. 7 – E_i values during eccentric growth of a tree (tree No. 32).

Fig. 8 – Weighting sums of eccentric tree-rings per year. Medium disturbances ($E_i = 0,31-0,5$) are defined by a weight of 0,5 and strong disturbances ($E_i > 0,5$) by a weight of 1.

Fig. 9 – Fluctuations of E_i values during eccentric growth of the tree (tree No. 23). $E_{(C-B)}$ – full line, $E_{(A-B)}$ – dashed line.

Fig. 10 – Fluctuations of E_i values during eccentric growth of the tree (tree No. 24). $E_{(C-B)}$ – full line, $E_{(B-C)}$ – dashed line.

Fig. 11 – Index I_i . Categories S1–S3 characterizing tree-ring growth decrease.

Fig. 12 – Index I_i . Categories R1–R3 characterizing tree-ring growth increase.

Fig. 13 – Annual precipitation since 1955 (axis x), Boleboř climatological station (CHMI).

Fig. 14 – Precipitation during the vegetation season and during period April–May, Boleboř climatological station (CHMI). Missing records from 1998 and 1999 were supple-

mented with records from the Křimov climatological station. Vegetation period – dark, April–May – gray.

Fig. 15 – Reference chronology. Double detrending was used as a standardization method. Axis y – values are in millimetres.

Pracoviště autora: Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie, Albertov 6, 128 43, Praha 2; e-mail: burda.cuni@email.cz.

Do redakce došlo 4. 2. 2009; do tisku bylo přijato 28. 9. 2010.

Citační vzor:

BURDA, J. (2010): Dendrogeomorfologická analýza dynamiky svahových pohybů v lokalitě Jezeří. *Geografie*, 115, č. 4, s. 440–460.