

JAN KALVODA, BLAHOŠLAV KOŠTÁK

## GOMORFOLOGICKÁ ANALÝZA MĚŘENÍ DILATAČÍ PÍSKOVCOVÝCH BLOKŮ V ÚDOLÍ LIBĚCHOVKY, POLOMENÉ HORY

J. Kalvoda, B. Košťák: *Geomorphological Analysis of Sandstone Block Dilatations in the Liběchovka Valley, Polomené Hills*. — Sborník ČSGS 89:3:199—210 (1984). — Longterm dilatations in vertical fissures between sandstone blocks are confronted with the geomorphological development of the rock relief in three localities of the Liběchovka valley between the villages Tupadly and Želčy, in the Polomené Hills. The measurement diagrams of rock dilatations are typical for seasonal volumetric changes in rock due to temperature variations and show amplitudes of 0.9 to 1.6 mm.

### 1. Úvod

Experimentální měření pohybů zemského povrchu a jeho geologické či geomorfologické interpretace jsou zdrojem základních informací o dynamice recentních geologických procesů exogenního, endogenního i antropogenního původu. V současné době se hlavní pozornost zaměřuje na geologické využití geofyzikálních a geodetických měření, přičemž je kladen důraz jak na zvláště přesné varianty měřických metod (např. integrace údajů světové sítě seismických stanic či opakovaná trojrozměrná triangulace laserovými dálkoměry), tak na analýzu obecných i lokálních geologických příčin pohybů zjištěných měření. V geomorfologickém a inženýrskogeologickém výzkumu jsou v uvedeném smyslu významná měření pomalých svahových pohybů, která spolu s okamžitými praktickými výsledky přinášejí též závažné údaje pro fyzikální modelování těchto jevů i při testování teoretických úvah o vývoji svahů a dynamice svahových procesů.

Základní metody měření pomalých svahových pohybů (geodetické výškové i polohové, speciální přímé kyvadly, inklinometry, extensometry a dilatometry, speciální nepřímé geoakustické, tlaků nebo napětí v horninách atd.) jsou popsány v práci Košťáka a Rybáře (1978). V Ústavu geologie a geotechniky ČSAV byl vyvinut k trojrozměrnému měření pomalých svahových pohybů vysoce stabilní dilatometr (Košťák 1977), který je s úspěchem používán na řadě lokalit v ČSSR a v zahraničí. Jedná se o terčové měřidlo TM 71, na němž jsou pohyby mezi sledovanými objekty mechanicky transformovány na opticky výrazné, fotograficky registrovatelné liniové prvky — interferenční čáry. Dilatometr TM 71 je dlouhodobě upevňován do trhlin mezi skalními bloky a pracuje

s přesností na setiny milimetru. Měření popsaného typu jsou prováděna od roku 1971 také v Polomených horách mezi osadami Tupadly a Želízy, na východních svazích údolí Liběchovky.

Údolí Liběchovky vytvořené v turonských pískovcích (foto 1) je přirozenou horopisnou hranicí mezi kokořínskou a lomskou částí Polomených hor. Na levém břehu potoka, 4 až 2 km od jeho ústí do Labe (160 m n. m.), leží ve strmých, erozně denudačních svazích mezi osadami Tupadly a Želízy izolované skalní stupně. Pískovcové skály jsou umístěny jižně od soutoku občasného potoka Hlubokého dolu a Liběchovky, pod spodní hranou mírně ukloněného denudačního svahu se západní expozicí. Tvoří část mohutného komplexu skalních měst, která jsou charakteristickým rysem reliéfu Polomených hor. Členité skalní výchozy, drobné věže a trosky pískovcových kvádrů, oddělené nepravidelnou sítí puklin a trhlin a jejich poměrně exponované umístění na svahu umožňují sledovat případné změny ve vzájemné poloze skalních bloků.

Na lokalitě u Tupadel bylo vybudování měřického stanoviště (foto 2) motivováno snahou o zjištění gravitačních svahových pohybů blokového typu. Tyto pohyby vznikají na svazích, kde bloky tvrdých hornin spočívají na plastickém podloží (Pašek, Košťák 1977), které se jejich tíhou deformuje nebo porušuje. Bloky pevných hornin pak klesají, přesouvají se po svahu níže a vytvářejí skalní stupně s výraznou morfologií. Základní konfigurace blokového pole, které spočívá na tvárnějším podloží, je skutečně na lokalitě Tupadly vyvinuta. Má podobu menšího skalního města na styku svahů údolí Hlubokého dolu a Liběchovky. Měření mělo tedy rozhodnout, probíhají-li zde blokové svahové pohyby v současnosti. Obdobný smysl má i o něco později zahájené měření zhruba o 1 km níže po toku Liběchovky poblíž osady Želízy.

## 2. Náčrt geomorfologických poměrů Polomených hor

Pestrý reliéf Polomených hor, které tvoří v České tabuli orograficky součást Ralské pahorkatiny, je diferencován na strukturně denudační plošiny a svahy, strukturní hřbety, pískovcová skalní města, erozně denudační tvary, svahové, eolické a fluviální akumulace a výrazné elevace vulkanitů. Pro členitou stupňovinu pahorkatiny Polomených hor jsou charakteristická kaňonová údolí, nesouvislé shluky suků, skalních pyramid, svědeckých vrchů a stěn v údolích turonských kvádrových křemenných a vápnitých pískovců. Nápadná jsou stupňovitá členění strukturně denudačních plošin, poměrně pestré tektonické rozpukání pískovcového masívu, sopečné výlevy (nejvýše leží fonolitový neovulkanit Vlhošť 614 m), hustá údolní síť s dnes již řídkými vodními toky a s poměrně vysokou hladinou podzemních vod, akumulace sprašových hlín, nevyrovnanost sklonu erozně denudačních svahů a sezónně pokračující zpětná eroze v pramenných mísách, soutěskách a erozních rýhách. Síť říčních údolí je výsledkem mladotřetihorních a kvartérních etapovitě probíhajících erozních procesů, postupujících v dobře propustných pískovcích téměř výhradně podél systémů puklin a zlomů. Eroze byla stimulována jak tektonickými zdvihy (spojenými místy i s výlevy podpovrchových čedičových a trachytických hornin), tak klimaticky v obdobích s vyššími srážkami.

Klasické pojetí vývoje údolních a svahových tvarů a tvarů selektivní-

ho zvětrávání pískovců, souhrn geologických a geomorfologických poměrů, včetně geomorfologické mapy Polomených hor, byly detailně popsány v práci Balatky, Loučkové a Sládka (1969). Strukturně denudační tvary jsou v povodí Liběchovky úzce spojeny s faciálními a tektonickými vlastnostmi turonských pískovců. Destrukce svahů klimamorfogenetickými procesy byla ovlivněna zejména hloubkou, směry a četností puklin, propustností vrstev a jejich petrografií, odolností vůči zvětrávání sezónními a sekulárními změnami podnebí. Z často několikametrové mocnosti svahových sedimentů, údolních říčních akumulací a sprašových hlín vyplývá energické dotváření reliéfu v pleistocénu. V současné době pokračuje občasné zahlubování údolí zpětnou erozí ve stržích a rýhách údolních uzávěrů a jejich poboček. Nestabilní jsou erozně denudační svahy nad styky jednotlivých údolí v úsecích, kde vystupují na povrch pískovcová souvrství s vysokými relativními rozdíly odolnosti vůči zvětrávání a propustnosti. Od vytvoření základů současného reliéfu v neogénu byly v těchto územích za podmínek intenzivního mrazového zvětrávání a regelace v pleistocénu a ve zmenšené míře v holocénu vhodné předpoklady pro vznik svahových pohybů.

### 3. Pískovcový skalní reliéf u Tupadel a Želíz

Měřicky sledovaná lokalita u Tupadel je částí erozně denudačního svahu, který vznikl na jih od styku Hlubokého dolu a údolí Liběchovky. Reliéf se sklání od středu kokořínské části Polomených hor ze strukturně denudačních plošin (od Sitného ke kótě 325,2 m na Čihadle, srv. Balatka, Loučková, Sládek 1966) mladotřetihorního a staropleistocenního stáří mírně ukloněnými denudačními svahy až k hranám příkrých erozně denudačních svahů údolní sítě. Horní hrana strmého svahu je nad měřenou lokalitou u Tupadel ve výšce 248—250 m, povrch aluviálních štěrkopísků dna údolí Liběchovky 178 m n. m. Erozně denudační svah, vytvořený na turonských pískovcích, je na několika místech prořat rovnými a erozními rýhami, z nichž nejhlubší zasahuje zpětně přes 200 m do mírného denudačního svahu. V příčném profilu svahu s pískovcovými skalními stupni lze rozlišit několik pásem diferenciace reliéfu:

1. Zakryté skalní bloky, sevřené trhliny a drobné pukliny, ležící podél spodního okraje nejvyššího denudačního svahu. V něm počínají i krátké, několik metrů hluboké erozní rýhy.

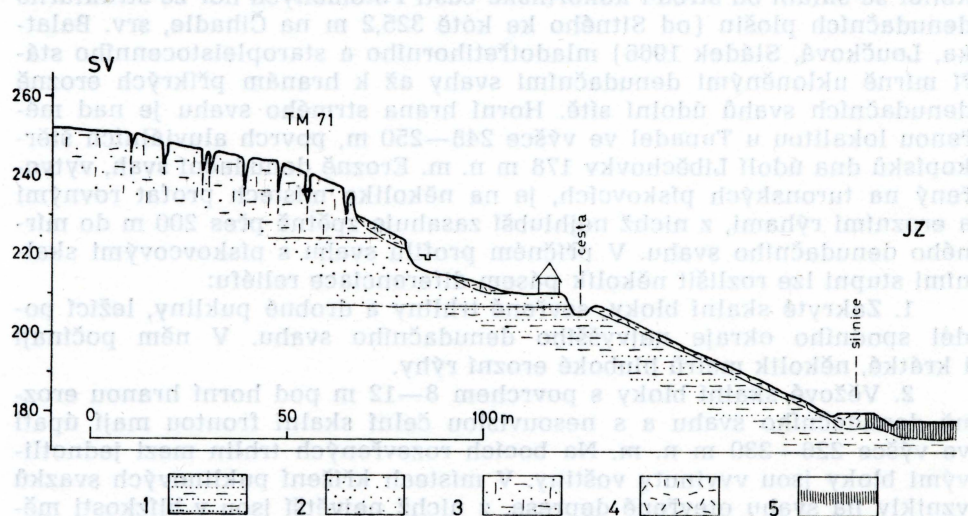
2. Věžové skalní bloky s povrchem 8—12 m pod horní hranou erozně denudačního svahu a s nesouvislou čelní skalní frontou mají úpatí ve výšce 226—230 m n. m. Na bocích rozevřených trhlin mezi jednotlivými bloky jsou vvinuty voštiny. V místech křížení puklinových svazků vznikly na svahu otevřené deprese, z nichž největší jsou v blízkosti měřidla.

3. Nejnižší pásmo převážně strmého svahu se svahovými sedimenty o mocnostech do 1 m je ve spodní části uměle upraveno v souvislosti se stavbami domků, cest a státní silnice.

V okolí Tupadel vystupují střednoturonské kvádrové pískovce, kaolinické a jílovité pískovce, místy písčité slepence a podřadně i vápnité a slínité pískovce. Drobný výskyt čediče 1,5 km sv. od Tupadel má plochu přibližně 100 × 50 m. Necelý 1 km jižně od Tupadel vedou Soukup, Klein, Kopecký (1960) přechodnou linií mezi severním komplexem s výskyty

kvádrových pískovců a ekvivalentním souvrstvím s převahou vápnitých a slinitých pískovců a siltovců středního turonu. V podloží křídových sedimentů údolí dolního toku Liběchovky leží pravděpodobně svrchní červená souvrství středočeského permokarbonu, zastoupená rudohnědými lupky a lavicemi šedých slídnatých pískovců. Vlastní údolí je zaříznuto do nejspodnější série málo propustných vrstev stupňů IV. — VII. středního turonu. Souvrství VIII. — IX. budují nejvyšší části rozvodí mezi doly, které dobře prostupná pro vodu (Zima 1959) a předávají ji puklinám ve vrstvách stupňů V. — VII. Nepropustné jíly III. stupně na povrch v údolí nevystupují. Je zajímavé, že liběchovské údolí probíhá souhlasně se sklonem křídových vrstev (průměrně 0,5° k JZ), jeho dno však má větší sklon než sklon vrstev. Horní část povodí je tak zaříznuta do stupňů V.—IX., dolní do stupňů IV. — VII., zatímco stupně VIII. a IX. jsou denudovány. Zima klade původ podzemních vod do jádra Polomených hor v okolí Supí a Vrátné hory. Prameny podzemních vod jsou převážně zlomové, nelze však pominout spolupůsobení málo propustných slinitých poloh na rozhraní spodního a středního turonu či méně výrazných vrstev slinitých pískovců ve stupních V. — VIII. středního turonu. Ty napomáhají vydatnosti zlomových pramenů na mokřinách a bažinách v údolí Liběchovky u Tupadel, Medonos, Želíz a Liběchova.

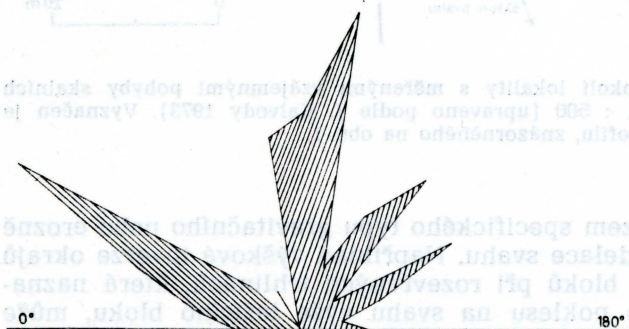
Hlavní tektonické prvky horninových komplexů přejímá rozvětvená údolní síť, založená převážně na puklinových systémech křídových pískovců. Jako příklad přizpůsobení půdorysu údolí směřům puklin uvádějí Balatka, Sládek (1964) levou pobočku Vidimského dolu sv. od Tupadel,



1. Příčný profil mezi skalním reliéfem s měřeními vzájemnými pohyby pískovcových bloků a dnem údolí Liběchovky u Tupadel. Linie povrchu reliéfu byla převzata z nepublikovaného topografického profilu 1 : 500 J. Dudka, J. Paška a J. Záruby. Vysvětlivky: 1 — vápnité pískovce a hrubozrnné písčité slíny VII. stupně turonu místy s deskovitou odlučností, 2 — vápnité pískovce a hrubozrnné písčité slíny VII. stupně turonu s lokální převahou slínů, 3 — drobnozrnné až hrubozrnné kvádrové pískovce spodní části VIII. stupně turonu, 4 — svahové sedimenty kvartérního stáří, 5 — fluvialní a splachové sedimenty holocenního stáří; TM 71 — terčové měřidlo.

kteřá má 6 ohybů v pravém až ostrém úhlu. Ve střední části Liběchovské-ho údolí zjistil větší dislokace Zima (1950) mezi ústím Písečného dolu a Novými Osinalicemi, v okolí Chudolaz, dále u Vidimi a Medonos.

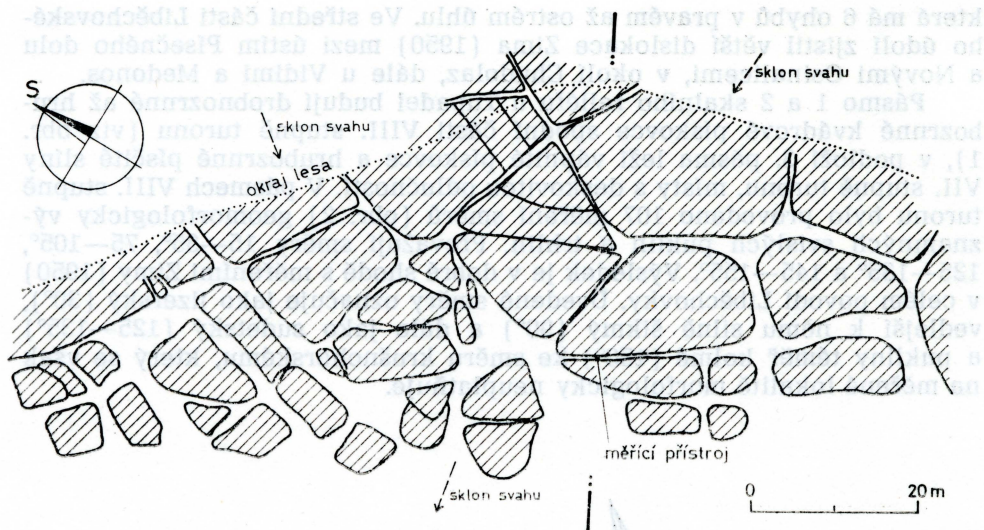
Pásmo 1 a 2 skalního reliéfu u Tupadel budují drobnozrnné až hrubozrnné kvádřové pískovce spodní části VIII. stupně turonu (viz obr. 1), v podloží 3. pásma leží vápnité pískovce a hrubozrnné písčité slíny VII. stupně turonu, místy s deskovitou odlučností. V pásmech VIII. stupně turonu bylo provedeno 107 měření směrů (obr. 2) geomorfologicky významných svislých puklin a trhlin. Převažují směry 15—35°, 75—105°, 125—135° a 145—155°. Výsledek je v dobré shodě s měřeními Zimy (1950) v celém povodí Liběchovky. Uvedené směry označuje jako jizerský (30°), vedlejší k němu silně šikmý (90°) a dále jako sudetský (125—135°) a pukliny téměř kolmé (150°) ke směru krušnohorskému, který se však na měřené lokalitě morfologicky neuplatňuje.



2. Růžicový diagram měření v pískovcovém skalním reliéfu u Tupadel. Jedno měření daného směru je vyjádřeno délkou 0,5 cm; celkový počet měření je 107, numerický přehled výsledků je uveden v textu.

Nepravidelné kvádry skalních bloků mají řádově metrové rozměry, vzácněji až délku přes 10 m. Při jižním okraji lokality leží opuštěný zářez drobného pískovcového lomu, v němž byly nalezeny i staré zvětralé tesané schody. Rozložení skalních výchozů a bloků, hlavní morfologicky výrazné puklinové systémy a poloha měřicího přístroje jsou zachyceny na schematickém profilu (obr. 1) a na topografickém plánu v originálním měřítku 1 : 500 (obr. 3). Skalní městečko u Tupadel je v pokročilém stadiu destrukce, občasné oživení ronu při větších srážkách je neúčinnější v sevřených puklinách výše popsaného prvního pásma reliéfu. Četné jsou i projevy drobných pohybů zvětralinového pláště splachem a prostým slézáním písčitohlinitých půd.

Na lokalitě Tupadly je pro blokové svahové pohyby příznivá poloha hluboce tektonicky rozpukaných kvádřových pískovců VIII. stupně turonu na strmém erozně denudačním svahu zdůrazněna podložními málo propustnými vápnitými pískovci až písčitými slíny VII. stupně turonu s výskyty zlomových pramenů v úrovni slinitých vrstev dna údolí Liběchovky. Odlišením tvarů, které vznikají pohyby tohoto typu, je zejména u fosilních lokalit ztíženo podobností modelačních erozně denudačních procesů na sedimentárních horninách. Rozmístění a diferenciacce skalních bloků, „rozvíráání trhlin“ a pohyb svahových sedimentů nejsou



3. Topografický plán širšího okolí lokality s měřeními vzájemnými pohyby skalních bloků u Tupadel, měřítko 1 : 500 (upraveno podle J. Kalvody 1973). Vyznačen je též průběh části příčného profilu, znázorněného na obr. 1.

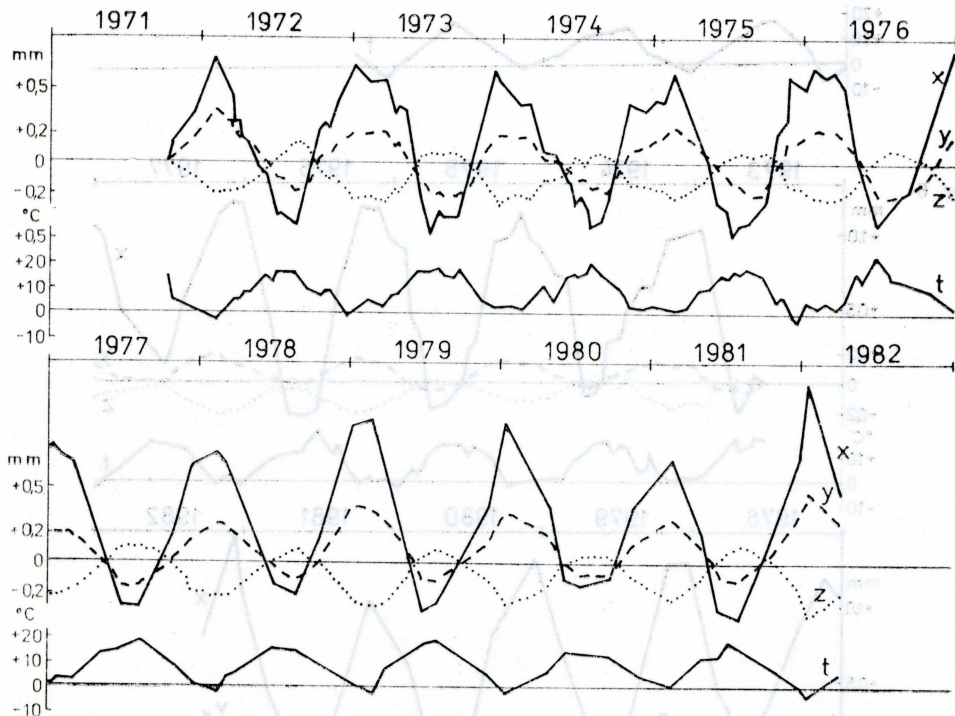
tedy jednoznačným důkazem specifického typu gravitačního nebo erozně denudačního procesu modelace svahu. Například výšková inverze okrajů sousedních pískovcových bloků při rozevřených trhlinách, která naznačuje možnost relativního poklesu na svahu výše ležícího bloku, může být výsledkem rozdílné intenzity ronové činnosti na členitém povrchu. Tento modelační prvek je běžný i na nesporně stabilních pískovcových hřbetech a shlucích suků, které jsou rozloženy na strukturně denudačních plošinách v nejvyšších polohách pahorkatiny.

Hlavní geomorfologické znaky pískovcového skalního reliéfu na svazích údolí Polomených hor jsou příkladně vyvinuty i na lokalitě Želízy jižně od Tupadel. Topografie obou lokalit se poněkud liší. V Tupadlech vytváří systém trhlin labyrint větviček se soutěsek s hloubkou 3–6 m, které se vždy sbíhají do hlavní rozsedliny, probíhající ve směru spádnice. Šířka tohoto pásma dosahuje asi 50 m a přechází níže do akumulacních svahů na písčítých a písčitojílovitých sedimentech. Na lokalitě Želízy jsou trhliny hlubší (6–10 m) a vytvářejí zde pravidelnější, téměř pravoúhlý systém, jehož hlavní směr je rovnoběžný s okrajem erozně denudačního svahu údolí Liběchovky. Okrajový blok o šířce asi 4 m je od pískovcového masívu oddělen 2 m širokou trhlinou, probíhající v délce 200 m řádově ve stejné šířce. Nápadná je zejména strmost spodní části svahu (místa 50–60° sklonu), nad kterou „visí“ svislá čelní hradba kvádrových pískovců, strohost zlomové linie souběžné se směrem údolí Liběchovky, rozvíření puklin ležících výše ve svahu, náhlé zvětšení sklonu spádnice od mírného denudačního svahu ke stupňům obnažených skalních bloků a výskyt drobných skalních řícení v širším okolí lokality. Ani v tomto případě nebyly nalezeny přímé důkazy rozčlenění skalního reliéfu svahovými pohyby blokového typu.

#### 4. Výsledky měření pohybů v trhlinách a jejich interpretace

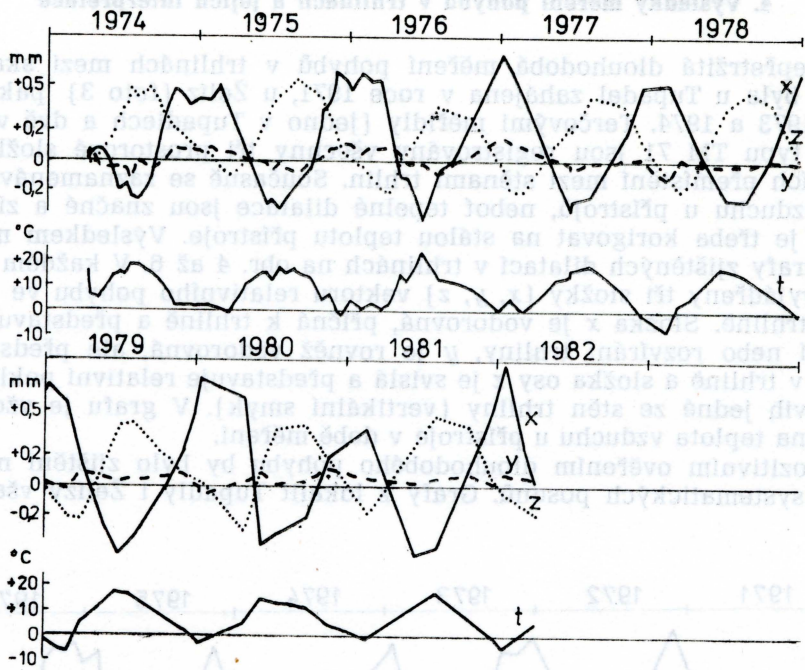
Nepřetržitá dlouhodobá měření pohybů v trhlinách mezi skalními bloky byla u Tupadel zahájena v roce 1971, u Želíz (foto 3) pak v letech 1973 a 1974. Terčovými měřidly (jedno v Tupadlech a dvě v Želízích) typu TM 71 jsou registrovány všechny tři prostorové složky relativních přemístění mezi stěnami trhlin. Současně se zaznamenává teplota vzduchu u přístrojů, neboť tepelné dilatace jsou značné a získané údaje je třeba korigovat na stálou teplotu přístroje. Výsledkem měření jsou grafy zjištěných dilatací v trhlinách na obr. 4 až 6. V každém grafu jsou vyjádřeny tři složky  $(x, y, z)$  vektoru relativního pohybu ve sledované trhlíně. Složka  $x$  je vodorovná, příčná k trhlíně a představuje zužování nebo rozvírání trhliny,  $y$  je rovněž vodorovná, ale představuje smyk v trhlíně a složka osy  $z$  je svislá a představuje relativní pokles nebo zdvih jedné ze stěn trhliny (vertikální smyk). V grafu je vždy též uvedena teplota vzduchu u přístroje v době měření.

Pozitivním ověřením dlouhodobého pohybu by bylo zjištění nevratných systematických posunů. Grafy z lokalit Tupadly i Želízky však na-

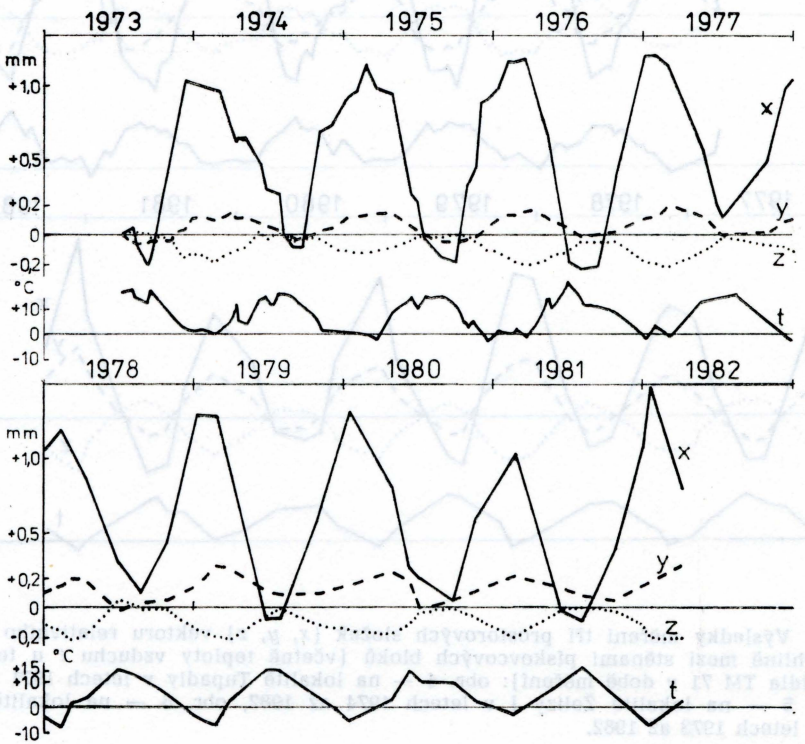


4. až 6. Výsledky měření tří prostorových složek  $(x, y, z)$  vektoru relativního pohybu v trhlíně mezi stěnami pískovcových bloků (včetně teploty vzduchu  $t$  u terčového měřidla TM 71 v době měření): obr. 4 — na lokalitě Tupadly v letech 1971 až 1982, obr. 5 — na lokalitě Želízky I v letech 1974 až 1982, obr. 6 — na lokalitě Želízky II v letech 1973 až 1982.

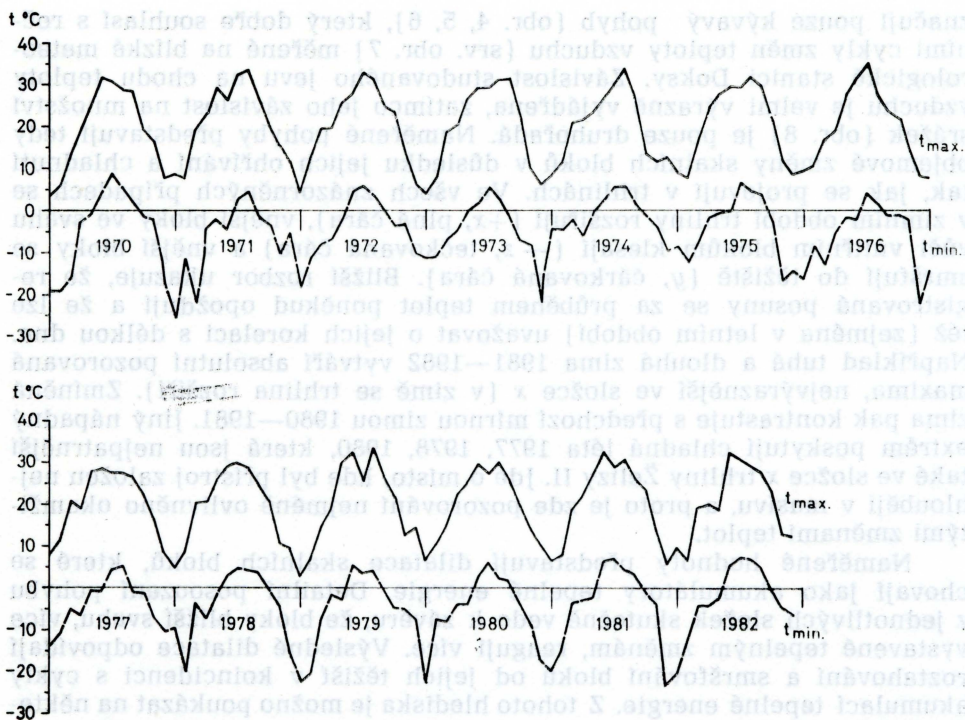
Obr. 5



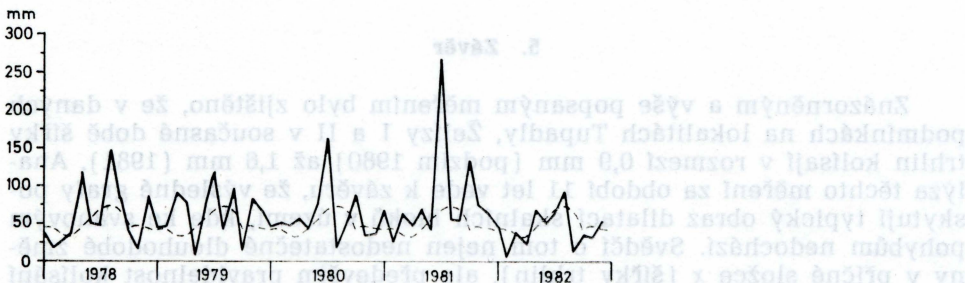
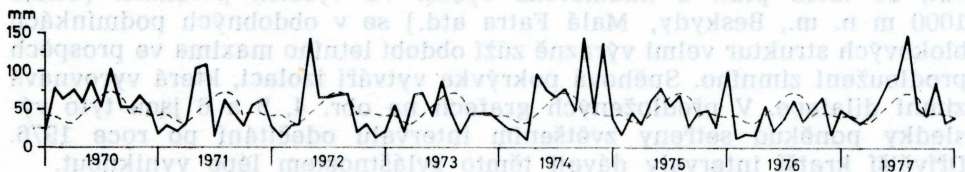
Obr. 6







7. Měsíční maxima ( $t_{max}$ ) a minima ( $t_{min}$ ) teploty vzduchu na meteorologické stanici Doksy (285 m n. m., cca 50° 30' s. š. a 14° v. d.) v letech 1970 až 1982.



8. Měsíční úhrny srážek naměřené na meteorologické stanici Doksy v letech 1970 až 1982 v porovnání s průměrným úhrnem měsíčních srážek (prerušovaná čára) za období 1901 až 1950.

značují pouze kývavý pohyb (obr. 4, 5, 6), který dobře souhlasí s ročními cykly změn teploty vzduchu (srv. obr. 7) měřené na blízké meteorologické stanici Doksy. Závislost studovaného jevu na chodu teploty vzduchu je velmi výrazně vyjádřena, zatímco jeho závislost na množství srážek (obr. 8) je pouze druhořadá. Naměřené pohyby představují tedy objemové změny skalních bloků v důsledku jejich ohřívání a chladnutí tak, jak se projevují v trhlinách. Ve všech znázorněných případech se v zimním období trhliny rozšiřují (+ $x$ , plná čára), vnější bloky ve svahu vůči vnitřním blokům klesají (– $z$ , tečkovaná čára) a vnější bloky se smršťují do těžiště ( $y$ , čárkovaná čára). Blížší rozbor ukazuje, že registrované posuny se za průběhem teplot poněkud opoždují a že lze též (zejména v letním období) uvažovat o jejich korelaci s délkou dne. Například tuhá a dlouhá zima 1981–1982 vytváří absolutní pozorovaná maxima, nejvýraznější ve složce  $x$  (v zimě se trhlina rozšíří). Zmíněná zima pak kontrastuje s předchozí mírnou zimou 1980–1981. Jiný nápadný extrém poskytují chladná léta 1977, 1978, 1980, která jsou nejpatrnější také ve složce  $x$  trhliny Želízy II. Jde o místo, kde byl přístroj založen nejhlouběji v masívu, a proto je zde pozorování nejméně ovlivněno okamžitými změnami teplot.

Naměřené hodnoty představují dilatace skalních bloků, které se chovají jako akumulátory tepelné energie. Detailní posouzení pohybu z jednotlivých složek skutečně vede k závěru, že bloky bližší svahu, více vystavené tepelným změnám, reagují více. Výsledné dilatace odpovídají roztahování a smršťování bloků od jejich těžišť v koincidenci s cykly akumulací tepelné energie. Z tohoto hlediska je možno poukázat na některé zvláštnosti naměřených cyklů. Především se ukazuje, že rozdíly mezi zimními maximy jsou výraznější, než u maxim letních. Podzimní dilatace (tj. úbytek energie) jsou všeobecně rychlejší, než jarní přírůstky. Dále je zřejmé, že s hloubkou v masívu se zužuje cyklus letního maxima a naopak rozšiřuje cyklus zimní. Z měření v jiných oblastech lze usuzovat, že totéž platí o nadmořské výšce. Ve vyšších polohách (okolo 1000 m n. m., Beskydy, Malá Fatra atd.) se v obdobných podmínkách blokových struktur velmi výrazně zúží období letního maxima ve prospěch prodloužení zimního. Sněhová pokrývka vytváří izolaci, která vyrovnává zimní dilatace. V předložených grafech na obr. 4, 5 a 6 jsou tyto výsledky poněkud setřeny zvětšením intervalu odečítání po roce 1976. Dřívější kratší intervaly dávají těmto zvláštnostem lépe vyniknout.

## 5. Závěr

Znázorněným a výše popsaným měřením bylo zjištěno, že v daných podmínkách na lokalitách Tupadly, Želízy I a II v současné době šířky trhlin kolísají v rozmezí 0,9 mm (podzim 1980) až 1,6 mm (1981). Analýza těchto měření za období 11 let vede k závěru, že výsledné grafy poskytují typický obraz dilatací skalních bloků v území, kde ke svahovým pohybům nedochází. Svědčí o tom nejen nedostatečné dlouhodobé změny v příčné složce  $x$  (šířky trhlin), ale především pravidelnost kolísání a absence jakéhokoliv zjistitelného dlouhodobého trendu ve složkách  $y$  a zejména  $z$ .

Geomorfologický rozbor vývoje drobných a středních tvarů pískovcového skalního reliéfu u Tupadel a Želíz potvrzuje názor Balatky, Louč-

kové a Sládka (1969), že nejintenzivnější modelace selektivně denudovaných turonských kvádrových pískovců probíhala v klimamorfogenetických podmínkách periglaciálních humidních období pleistocénu a postglaciálu. Výše diskutované detailní rysy modelace a rozčlenění svahů u Tupadel a Želíz je možné uspokojivě vysvětlovat občasnou erozí podél sítě tektonického rozpukání a rozšiřováním trhlin zvětráváním (srv. foto 4) a splachem.

Pískovcové skalní městečko u Tupadel je běžným případem strukturně podmíněných tvarů reliéfu Polomených hor, v nichž jsou však známy jak fosilní a recentní zřícení skalních bloků podtětím hloubkovou či boční erozí a zvětráváním, tak projevy svahových pohybů blokového typu po mírně plastickém podloží. Přímý důkaz fosilních svahových pohybů blokového typu nebyl geomorfologickou analýzou studovaných lokalit v údolí Liběchovky nalezen. Snížení okrajových bloků pískovců na svazích v poměru k hlubším částem skalního masívu nebylo zjištěno. Zdůrazňujeme však, že současná pozorování tvarů reliéfu a měření pohybů skalních bloků v trhlínách mezi nimi nemohou mít plnou vypovídací hodnotu pro celé období vývoje údolí Liběchovky. Podíl blokových svahových pohybů v kombinaci s erozně denudačními procesy na vzniku skalního reliéfu za vlhčích a teplejších období v kvartéru nelze vyloučit. V dalších pískovcových oblastech Českého masívu existují pro výskyt tohoto typu svahových pohybů spolehlivé důkazy (Pašek, Košťák 1977).

Z hlediska snahy o detekci recentních svahových pohybů, které jsou převážně gravitačního původu, je tedy možné označit sledované území jako stabilní. Předložený měřický důkaz absence těchto pohybů podporuje erozně denudační výklad geneze skalního reliéfu, který vyplývá z geomorfologické analýzy v současné době existujících povrchových tvarů. Popsané území Polomených hor mezi Tupadly a Želízy v údolí Liběchovky je proto i vhodným modelem pro dilatační chování trhlin v současných klimatických podmínkách pahorkatin Evropy.

#### Literatura:

- BALATKA B., LOUČKOVÁ J., SLÁDEK J. (1963): Zpráva o geomorfologickém výzkumu jižních částí Polomených hor a Úštěcké tabule. — Sborník ČSSZ 68:3:259—264, Praha.
- BALATKA B., LOUČKOVÁ J., SLÁDEK J. (1966): Podrobná geomorfologická mapa Tupadel. — Geografický ústav ČSAV, Brno.
- BALATKA B., LOUČKOVÁ J., SLÁDEK J. (1969): Vývoj pískovcového reliéfu České tabule na příkladu Polomených hor. — Rozpravy ČSAV, ř. mat.-přír. věd 79:5:38 str., Praha.
- BALATKA B., SLÁDEK J. (1964): Vývoj údolí v pseudokrasových horninách jihovýchodní části Polomených hor. — Československý kras 15 (1963): 37—50, Praha.
- KALVODA J. (1977): Geomorfologický vývoj pískovcového skalního reliéfu u Tupadel — Polomené hory. — Výzk. zpr. Geologického ústavu ČSAV, Geofond, 22 str., Praha.
- KOŠTÁK B. (1977): Terčové měřidlo TM 71 a jeho užití pro měření velmi pomalých pohybů na poruchách a trhlínách. — Inženýrské stavby 25:5:213—218, Bratislava.
- KOŠTÁK B., AVRAMOVA—TAČEVA E. (1981): Propagation of coastal slope deformations at Taukliman, Bulgaria. — Bull. IAEG 23:67—73, Krefeld.
- KOŠTÁK B., RYBÁŘ J. (1978): Measurements of the activity of very slow slope movements. — In: O. Natan, E. Feeker, G. Reik: Grundlagen und Anwendung der Felsmechanik. Trans. Tech. Publications, 191—205, Clausthal.

- PAŠEK J., KOŠTÁK B. (1977): Svahové pohyby blokového typu. — Rozpravy ČSAV, ř. mat.-přír. věd 87:3:58 str., Praha.
- SOUKUP J., KLEIN V., KOPECKÝ L. (1960): Geologická mapa 1 : 50 000 M-33-53-D (Mělník). Geofond, Praha.
- ZIMA K. (1950): Geologické poměry jihozápadní části Polomených hor. — Sborník Stát. Geol. Úst. 17 : 289—339, Praha.
- ZIMA K. (1959): Hydrogeologické podklady pro průzkum křídových podzemních vod v povodí dolní Liběchovky, Pšovky a Košáteckého potoka. — Vodní zdroje, 14 str., Praha.

## Summary

### GEOMORPHOLOGICAL ANALYSIS OF SANDSTONE BLOCK DILATATIONS IN THE LIBĚCHOVKA VALLEY, POLOMENÉ HILLS

The results of the dilatation measurements carried out in vertical fissures between sandstone blocks confronted with the geomorphological development in three localities, Tupadly, Želízky I and Želízky II in the Liběchovka valley do not substantiate the existence of recent slope movements in this region. Diagrams of the resulting dilatations (see figs 4, 5, 6 and 7) provide typical examples of seasonal volumetric changes due to temperature variations. Fissures in rocks show seasonal changes in their width (from 0.9 to 1.6 mm). They open in winter (+x, full line), external blocks compared to internal blocks (-xx, dotted line) sink, and show the contraction oriented into their centres of gravity (y, dashed line). In summer at higher temperatures the dilatations are fully reversible with deviations due to climatic irregularities specific for the particular season. Reactions to temperature are delayed.

The geomorphological analysis of small and medium-size landforms of the rock relief near Tupadly and Želízky confirms the view of Balatka, Loučková, Sládek (1969), that the most intensive modellation of selectively denuded sandstones of Turonian age with rectangular jointing took place in the climato-morphogenetic conditions of periglacial humid periods of the Pleistocene and postglacial era. The separation of individual blocks along slope margins near Tupadly and Želízky can be explained by occasional erosion along the tectonic fissures and by the widening of fissures due to denudation and rainwash.

The present observations of the rock landforms and the measurements of block movements cannot elucidate the development of the Liběchovka valley. The contribution of block slope movements to the formation of the rock relief, which has been confirmed also in another place in the Bohemian Massif (Pašek, Košťák 1977), cannot be excluded in the past, notably in more humid and warm periods of the Quarternary.

The presented results of measurements of displacements of sandstone blocks can also be taken as model for the dilatational behaviour of rock fissures in present-day climatic conditions of hills in Central Europe.

*(Pracoviště autorů: Ústav geologie a geotechniky ČSAV, V Holešovičkách 41, 180 92 Praha 8.)*



1. Údolí Liběchovky u Tupadel v Polomených horách. Studovaná lokalita zalesněného skalního reliéfu (podrobnosti viz profil na obr. 1) je umístěna v popředí na levém erozně denudačním svahu.



2. Trhlina mezi skalními bloky kvádrových pískovců turonského stáří, v níž je na lokalitě u Tupadel umístěn měřicí přístroj ÚGG ČSAV typu TM 71.



3. Zadní strana 5—7 m mocné skalní stěny na lokalitě s měřicími přístroji u Želíz. Šířka podélné trhliny je 1—2 m, její dno je vyplněno zrnitostně různorodými svahovými sedimenty.



4. Ronem modelovaný povrch pískovcových skalních bloků, navzájem oddělených 2—3 m hlubokými a sevřenými trhlinami, na boční straně jednoho z uzávěrů erozních zářezů levého erozně denudačního svahu údolí Liběchovky na sever od Tupadel. Snímky J. Kalvoda