Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.
LXXXV(2000):135–150, 2000

BALVANOVÉ PROUDY A SKALNÍ TVARY V ÚDOLÍ DYJE (NP PODYJÍ)

BLOCKSTRÖME UND FELSENFORMEN IM THAYATAL
(NP PODYJÍ)

MARTIN BRZÁK

Abstract

Brzák, M., 2000: Balvanové proudy a skalní tvary v údolí Dyje (NP Podyjí). Acta Mus. Moravie, Sci. geol., 85:135–150 (with a German summary).

Block streams and rock forms in the Dyje valley (Podyjí NP)

Paper deals with block streams, block fields, including rock fall accumulations, and adjacent rock forms situated on the steep slopes of the canyon-like Dyje valley in the Dyje Massif. The detailed morphographic and morphostructural analysis was done on three localities. The distribution of the block accumulations has proved the dependency on exposition, spatial distribution of foliation planes and rock resistance.

Key words: Dyje Massif, block stream, gelifluction, rock fall, fissure cave.

Martin Brzák, Department of Geography, Masaryk University, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Czech Republic, e-mail: brzak@porthos.geogr.muni.cz

Úvod

Nejvýznamnějším fenoménem Národního parku Podyjí je značně hluboké údolí Dyje s mimořádně strmými svahy. Vertikální členitost a především sklon reliéfu zde podmiňují vznik řady tvarů, které působí v rámci okolního rozsáhlého plochého reliéfu Jevišovické pahorkatiny poněkud exoticky a které jsou naproti tomu typické pro horský a velehorský reliéf. Jedná se především o mohutné balvanové svahové akumulace a četné skalní útvary. Tyto tvary jsou na strmých údolních svazích rozloženy velmi nerovnoměrně. Detailní geomorfologický výzkum svahových ploch s výskytem balvanových akumulací byl prováděn pro potřeby správy Národního parku Podyjí. V genetické souvislosti s balvanovými akumulacemi byly zkoumány také skalní tvary jako zdrojové plochy balvanového materiálu odhalující strukturní plán podloží.

Dosud byly zkoumány lokality v dyjském masívu. Na lokalitách Sealsfieldův kámen (BRZÁK 1999), Nad papírnou a Výří skály byly z balvanových a kamenito-štěrkovitých svahových akumulací, jak je vymezují RUBÍN, BALATKA et al. (1986), zjištěny především balvanové proudy a balvanová moře, méně zastoupeny jsou suťová pole a suťové proudy. S ohledem na specifickou genezi byla mimoto rozlišována skalní zřícení. Nejvýznamnější jsou balvanové proudy, a to jednak z hlediska historického vývoje krajiny, neboť dokládají značné klimatické změny v kvartéru, jednak zastoupením iniciálních stádií rostlinných společenstev, protože představují největší plochy současného přirozeného bezlesí, a konečně svým specifickým mikroklimatem.

Pro tvorbu schematických geomorfologických map v měřítku 1:1 250 bylo nutno zpřesnit polohopis a výškopis základních map 1:5 000. Stalo se tak na základě neortogonálních leteckých fotografií (Správa NPP). Na svahové ploše Nad papírnou byly mimoto z protisvahu geodeticky zaměřeny 43 body. Na tuto polohopisnou kostru navázalo vlastní mapování a další geomorfologický výzkum.

Poloha svahových ploch

Obě zkoumané svahové plochy se nacházejí v jv. části NPP. Plocha Nad papírnou leží asi 6,5 km JZ od centra Znojma, plocha Výří skály asi 800 m S od předešlé. Obě zkoumané plochy leží na pravém svahu údolí Dyje. Svahová plocha Nad papírnou je orientována převážně k J. Plocha Výří skály je amfiteatrálně prohnutá a je orientována k SZ, Z až ZJZ.

Morfometrická charakteristika údolních svahů a dna

Údolí Dyje je v úseku plochy Nad papírnou výškově asymetrické. Údolní niva je široká pouze asi 50–65 m (včetně koryta řeky). Na protějším břehu je výrazně stupňovitá, nejlépe je vyvinut povrch ve výšce asi 4 m nad hladinou řeky (obr. 4), označovaný jako vyšší nivní úroveň (BRZÁK 1998). Povrch nivy na pravém břehu je však vcelku rovný.

Horní hrana svahové plochy Nad papírnou leží podle geodetického měření ve výšce 339–352 m, hladina Dyje asi 238–237 m. Maximální výška svahu tedy činí asi 115 m. Sklon svahu je na rozsáhlých plochách vyrovnaný a činí 37°. Nejvíce skloněné jsou roz-

Obr. 1. Celkový pohled na svahovou plochu Výří skály od JZ. Stupňovitě uspořádané pásy skalních stěn ve střední části jsou vázány převážně na plochy foliace. Dolní část balvanového proudu 2 je skryta za protilehlým hřbetem se dvěma spočinky.

Abb. 1. Hangfläche Výří skály von SW gesehen. Die stufenartig eingeordneten Felswände im mittleren Abschnitt sind überwiegend auf die Foliationsflächen gebunden. Der Unterteil des Blockstromes 2 ist hinter dem gegenüberliegenden Rücken mit zwei kleinen Hangniveaus versteckt.

sáhlé skalní povrchy v horní části svahu. Stupeň v dolní části svahu, zjištěný na řadě míst v údolí Dyje, je vyvinut nevýrazně pouze na protějším svahu Dyje. Tento svah leží na vnitřní straně meandru Šobes a je nižší vlivem protínání svahů (sensu CZUDEK 1988, s. 38). Jeho výška nad okrajem nivy činí asi 90 m a maximální střední sklon mezi horním a dolním okrajem je 36°. Přestože má zhruba stejný průměrný sklon jako plocha Nad papírnou, nacházejí se na něm pouze několik metrů vysoké skalní útvary, a zcela chybějí balvanové akumulace.

Údolí Dyje je v úseku Výřích skal sklonově asymetrické. Údolní niva je zde široká jen asi 50 m. Na protější straně jsou vyvinuty dva stupně, přičemž vyšší nivní úroveň leží ve výšce 3,5–4 m nad hladinou řeky. Stupeň s horní hranou ve výšce asi 4 m je vyvinut místy také na pravém břehu (obr. 5).

Horní hrana svahové plochy Výří skály dosahuje maximální výšky asi 385 m, hladina Dyje leží ve výšce 234–233 m, výškový rozdíl tedy činí asi 150 m. Svah člení tři velké svahové úpady, z nichž dva mají na dně erozní rýhu, rýha vyvinutá v dolní části třetího je vyplněna balvanovým proudem. Největší průměrný sklon svahu mezi skalní hranou v oblasti 2 a břehem Dyje činí 39°. Strmější stupeň výšky až 10 m, který vznikl podřezáním svahu, je místy vyvinut v úpatní části svahu. Podřezána byla dolní část balvanového proudu 3 a balvanového moře 4. Na protějším svahu vznikl stejným procesem stupeň proměnlivé výšky, který leží až 26 m nad hladinou řeky.

Protější údolní svah leží na vnitřní straně zákrutu Dyje a vytváří oblý hřbet. Sklon i množství skalních útvarů se značně mění. Průměrný sklon spádnice kolísá od 20° na vrcholu říčního zákrutu po 37° v přímém úseku. Horní okraj svahu na styku se starým zarovnaným povrchem leží ve výšce asi 390 m, tedy asi 160 m nad hladinou Dyje. Poloha protějšího svahu na vnitřní straně údolního zákrutu se projevuje menším sklonem protějšího svahu, nikoliv menší výškou jako v případě protisvahu plochy Nad Papírnou. Na zmíněném hřbetu jsou vyvinuty dva výrazné spočinky bez říčních štěrků (obr. 1). Jejich vztah k fázím prohlubování údolí není jasný.

Balvanové akumulace

K terminologii balvanitých a kamenito-štěrkovitých akumulací

Termíny balvanová moře, balvanový proud, suťové pole, suťový proud dohromady nepokrývají celou škálu balvanových a kamenito-štěrkovitých svahových akumulací, nýbrž postihují pouze určité specifické a v reliéfu nápadné situace.

Balvanová moře jsou akumulace obsahující úlomky velikosti balvanu (nejdelší osa delší než 50 cm) v takové míře, že zaujímají přinejmenším 50 % povrchu. Pokud se balvany nacházejí na místě vzniku, jedná se o *autochtonní balvanová moře*, pokud byly přemístěny potom o *alochtonní balvanová moře* (RUBÍN, BALATKA et al. 1986). Chceme-li z alochtonních balvanových moří vyloučit balvanové proudy, je třeba dodat, že tato balvanová moře nejsou protáhlá po svahu.

Balvanové proudy jsou balvanové akumulace protáhlé po svahu (mají nejčastěji podobu jazyka) a vznikly přemístěním balvanů. Autoři u balvanových proudů nespecifikují míru pokrytí povrchu balvany, pokládám však za vhodné stanovit minimální podíl balvanů na povrchu proudů také na 50 %.

Pro *suťové proudy a pole* je podle mého názoru příznačné, že se utvářejí pod vlivem gravitace sesouváním, sesypáváním, event. též saltací materiálu s velmi malým podílem jemnozemě a bez přítomnosti vody v jakémkoli skupenství. Příznačné je také gravitační vytřídění materiálu, neboť pohyb nejmenších úlomků ustává nejdříve, zatímco největší se hromadí při úpatí akumulace. U suťového proudu výrazně převládá délka ve směru sklonu svahu nad šířkou, kdežto u suťových polí nikoliv. Suťové pole má zpravidla zhruba obdélníkový po spádnici vedený průřez, zatímco suťový kužel či osyp trojúhelníkový

(RUBÍN, BALATKA et al. 1986). Suťové akumulace zpravidla mají malý podíl jemnozemě. Sutě složené z úlomků velikosti balvanů jsou označovány jako balvanové sutě.

Balvanové akumulace typu *skalních zřícení* vznikly procesem řícení, tedy náhlým přemístěním oddělené, popř. i rozrušené skalní hmoty a jejím následným nahromaděním při úpatí skalních útvarů. Balvanová moře a proudy jsou tedy vymezeny na základě minimálního podílu určité zrnitostní frakce, kdežto suťové akumulace a skalní zřícení na základě mechanismu vzniku.

Ke genezi zjištěných balvanových akumulací

Na svahových plochách Výří skály a Nad papírnou byla zjištěna celá řada balvanových akumulací proměnlivého rázu, v různé míře formovaných procesy gravitačními

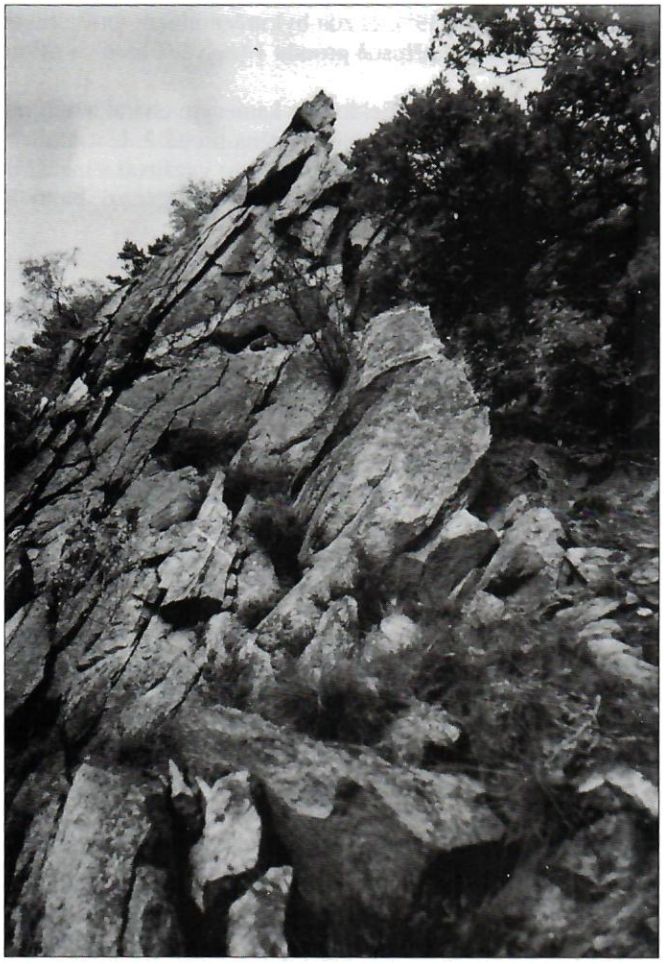
Obr. 2. Horní a střední část balvanového proudu 2 na Výřích skalách. Zdrojem balvanitého materiálu proudu, který se pohyboval starším svahovým úpadem, byla četná drobná skalní řícení po foliačních plochách skalních útvarů 6B a 6C.

Abb. 2. Der Ober- und Mittelteil des Blockstromes 2 auf der Hangfläche Výří skály. Die Quelle des blockigen Materials, das sich durch die ältere Hangdelle bewegte, waren zahlreiche kleine Felsenfallen auf den Foliationsflächen der Felsenformen 6B und 6C.

a kryogenními. Tvary s největší úlohou gravitace a nejmenší úlohou kryogenních procesů jsou skalní zřícení. Největší roli hrály naopak kryogenní procesy při tvorbě geliflukčních balvanových proudů, které se utvářely na permafrostu i při menších sklonech, tedy s nejmenším působením gravitace.

Přestože jsou skalní zřícení plošně poměrně malá, jejich poloha pod predisponovanými částmi skalních stěn dává jasnou představu o jejich vzniku. Balvanové proudy a ostatní balvanová moře zaujímají sice podstatně větší plochy než zřícení, jejich geneze je však méně jasná. Jejich povrch není většinou natolik vyrovnaný, aby je bylo možno označit za geliflukční proudy s takovou jistotou jako v případě největšího proudu pod Sealsfieldovým kamenem (BRZÁK 1999). Dosud získaná fakta svědčí v případě největšího proudu 2 na ploše Výří skály (obr. 2) nejvíce pro jeho utváření geliflukcí.

Jen velmi malá část balvanových svahových pokryvů má přitom charakter nestabilních suťových akumulací s rostoucí velikostí úlomků po svahu dolů. Takový charakter



Obr. 3. Skalní žebro 6B na svahové ploše Výří skály. Foliační plochy se sklánějí směrem k balvanovému proudu 2.
Abb. 3. Felsenrippe 6B auf der Hangfläche Výří skály. Die Foliationsflächen sind zum Blockstrom 2 geneigt.

mají lokálně horní, vzácněji boční okrajové části balvanových proudů s menšími úlomky, popř. větším sklonem povrchu.

Balvanové proudy a moře

Typické pleistocénní balvanové proudy, vzniklé v periglaciálních podmínkách, u nichž je holocénní pohyb úlomků vyloučen, mají nejčastěji sklon 5–15° (např. Rubín, BALATKA et al. 1986). Balvanové proudy v údolí Dyje mají naproti tomu podstatně větší sklony a jejich vývoj byl značně specifický. Vzhledem k podstatně větším sklonům povrchu je u části z nich možný pohyb balvanů i bez přítomnosti permafrostu, což často znemožňuje jednoznačnou interpretaci jejich geneze a zařazení do chladných či teplých fází pleistocénu.

Pokud mají balvanové akumulace vyrovnaný sklon povrchu, svědčí to o tom, že se úlomky na povrchu přemísťovaly a ukládaly podle úhlu vnitřního tření. Na rozlehlejších proudech vyrovnaného sklonu pod Sealsfieldovým kamenem tak bylo možno pozorováním zjistit, zda je sklon povrchu blízký současnému úhlu vnitřního tření, jako v případě proudu 3 (nejmenší bloky a sklon 39°), či zda byl určen úhlem vnitřního tření při tečení po permafrostu (geliflukci), jako v případě proudu 1 (největší bloky a sklon 27°) (BRZÁK 1999).

Geliflukčnímu proudu 1 pod Selsfieldovým kamenem charakterem nejvíce odpovídají velké proudy na Výřích skalách a z nich zejména proud 2. U ostatních balvanových proudů na Výřích skalách lze o pohybu po permafrostu uvažovat s menší jistotou. Drobnější balvanová moře na ploše Nad papírnou měla odlišnou genezi, bloky byly přemístěny v mnohem menší míře.

Vývoj a stáří balvanového proudu 2 na ploše Výří skály

Největším balvanovým proudem je proud 2 na ploše Výří skály. Jeho skutečná (šikmá) délka činí asi 150 m, největší šířka v místech lalokovitého rozšíření 44 m. Sklon proudu je vyrovnaný zejména v horní části, kde činí asi 33°. Mocnost balvanového proudu není známa, nikde však nevystupuje na povrch skalní podloží. Současná hranice lesa se velmi blíží hranici proudu.

Balvanový proud vznikl a do dnešní podoby byl formován v pleistocénních periglaciálních podmínkách, kdy podloží tvořil permafrost. Mezery mezi žulovými balvany a kameny byly vyplněny jemnozemí, popř. drobným štěrkem a vodou či ledem. Jemnější materiál vznikal jednak in situ pokračující dezintegrací velkých úlomků, jednak byl přinášen z výše ležících svahových poloh, popř. i ze zarovnaného povrchu (např. geliflukcí jemnozemě).

Vyplnění mezer pouze ledem je velmi nepravděpodobné, neboť čistý led by musel vznikat především ze sněhové pokrývky. Podle dosavadních poznatků však v pleistocénních glaciálech převládalo poměrně suché klima, neumožňující v daných nadmořských výškách hromadění většího množství sněhu. Pohyb svrchní hmoty složené z ledu a balvanů po plastickém bazálním ledu vlivem regelace (mechanismus skalních ledovců) navíc nepřichází pravděpodobně v úvahu pro nedostatečnou mocnost balvanové akumulace.

Pohyby proudu 2 probíhaly nejrychleji a v daleko největším rozsahu v létě, kdy činná vrstva permafrostu rozmrzla a rozbředlá jemnozem se spolu s balvany pomalu pohybovala do údolí. (Pohyby rozbředlých hmot po trvale či sezónně zmrzlém podloží se označují jako geliflukce.) Úlomky o velikosti až několika metrů se nejspíše pohybovaly po svahu vcelku plynule sunutím, pouze místně rotací. Poměrně vyrovnaný sklon balvanového proudu byl dán úhlem vnitřního tření směsi balvanů s rozbředlou mezerní hmotou. Současný úhel vnitřního tření je větší než sklon proudu, neboť pád balvanu, pohyb člověka apod. vyvolává vesměs pouze kývání balvanů. Přitížení vede k sesouvání balva-

nů jen ojediněle. Značné pohyby balvanových proudů a svahových hmot vůbec usnadňoval nedostatečný vegetační kryt, krajina v okolí měla nejpravděpodobněji charakter tundry.

Jemnozrnná výplň balvanového proudu 2, event. i dalších proudů byla vypláchnuta v teplejším a podstatně vlhčím období, nejspíše v holocénu. Příklady takové přeměny balvanových proudů a moří uvádí např. KLATKA (1962). Dnešní balvanový proud 2 představuje tedy určité denudační torzo, vypreparovanou kostru někdejšího geliflukčního proudu. Díky svým rozměrům a nedostatečnému sklonu svahu již balvany během holocénu nepodléhaly větším svahovým pohybům.

Sběrnou oblastí hlavní větve proudu byla především sz. strana skalních útvarů 6, na kterou se sklánějí foliační plochy. Z žebra 7 se materiál dostával do proudu v mnohem menší míře. Dokládá to vedle orientace foliačních ploch fakt, že horní konec balvanového proudu leží výše než horní konec žebra 7. (Materiál z žebra 7 se dostával především do balvanového proudu 3.) Zatímco v horní části svahu se dál pohyb hmot k SZ, níže proud 2 využil pravděpodobně již dříve existujícího svahového úpadu a pohyboval se celkově k JZ (obr. 2). Litologická stálost podloží neumožňuje spolehlivě určit délku transportu jednotlivých bloků.

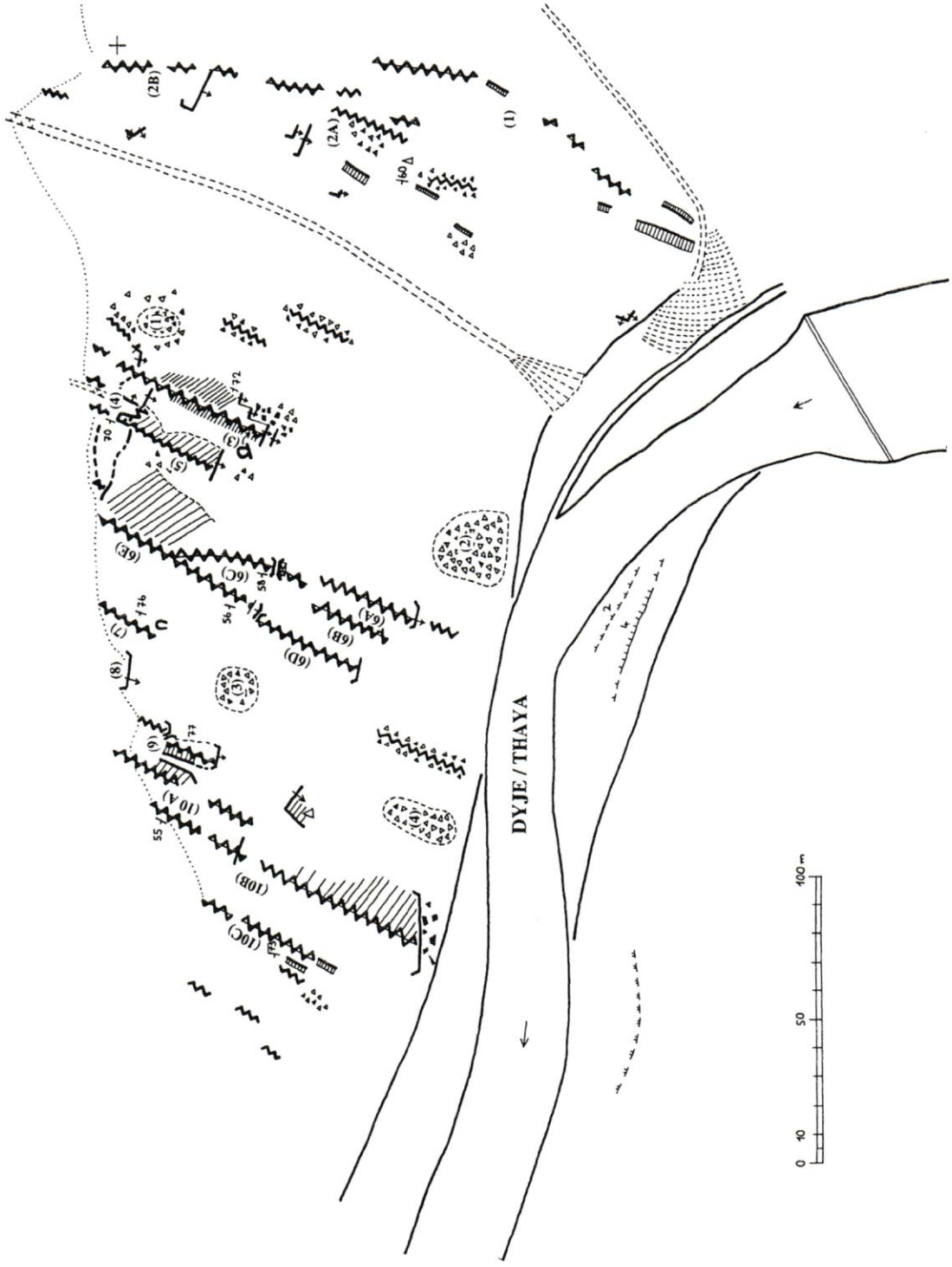
Víceméně rovinná plocha proudu určená úhlem vnitřního tření v periglaciálních podmínkách sahá téměř do výšky koryta Dyje, tedy níže než pozůstatky úrovně hodonické terasy neboli V. úrovně sensu ZEMAN (1973). Ty jsou dochované výše proti proudu i níže po proudu v relativní výšce asi 30 m. Tato úroveň je v tomto úseku údolí mindelská, popř. poněkud mladší (BRZÁK 1999). Balvanový proud 2 se musel utvářet v pozdějším chladném období, tedy buď v rissu, nebo ve würmu.

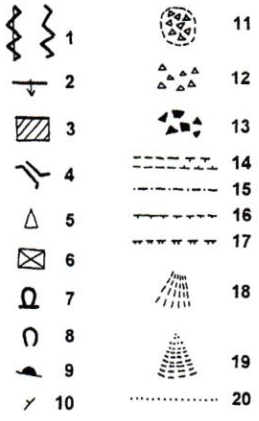
Vybrané poznatky o ostatních balvanových proudech a mořích

Balvanový proud 1 na Výřích skalách také využil v dolní části, kde se podstatně zužuje, svahového úpadu. Rýha v jeho ose je zaplněna proudem bloků „plovoucích" v jemnozemi. V horní části, kde proud leží na bočním svahu svahového úpadu, mají úlomky menší průměrnou velikost, a chybí jemnozem. Z velkých akumulací je tato část proudu tvořena nejmenšími úlomky. Častá je velikost v nejdelší ose 40–70 cm. Sklon proudu v horní části je větší a dosahuje až 39°. Nejméně stabilní proud se tak místy blíží suťovému poli. Kužel při ústí úpadu je v s. části na povrchu tvořen především jemnozemí, zatímco v j. části převládají balvany, přičemž sklon je zhruba stejný. V blízkosti kužele (pod cestou) leží na hlinitém povrchu údolní nivy subhorizontálně uložený, geliflukcí přemístěný blok o rozměrech 6,10×3,70×0,6 m.

Balvanový proud 3 a balvanové moře 4 skládají úlomky podstatně větší. Oba jsou ukončeny stupněm výšky až 10 m nad řekou, který vznikl podřezáním bočnou erozí Dyje. Největším úlomkem balvanového moře 4 je deskovitý subhorizontálně uložený blok na dolním okraji (u cesty) o rozměrech 5,00×3,40×0,90 m.

Balvanová moře jsou Nad papírnou vyvinuta na mnohem menší ploše a v menších mocnostech než na Výřích skalách. Balvanové moře 1 zaujímá plochu jen asi 15×10 m. V dolní části dosahují balvany velikosti až 2,7 m v nejdelší ose. V horní části sestává akumulace z drobnějších úlomků a je zazemněná. Balvanové moře přechází směrem do okolí v pokryv z ojedinělých balvanů. Balvanové moře je velmi mělké, na jeho dolním okraji vystupuje skalní podloží. Jeho povrch má nevyrovnaný sklon, při jeho malé velikosti se mimo jiné výrazně uplatňuje velikost jednotlivých úlomků. Dolní část představuje zřejmě alochtonní balvanové moře s délkou transportu maximálně 30 m, řidší balvanový pokryv i nakupení balvanů ve zdrojové oblasti výše na svahu je subautochtonní.


DYJE / THAYA
0 10 50 100 m



Vysvětlivky k obr. 4, 5.
Erläuterungen zu Abb. 4, 5.

Obr. 4. Schematická mapa svahové plochy Nad papírnou. – Vysvětlivky: 1 – skalní žebro, skalní hřeben: souvislý – nesouvislý (rozvětralý, pokrytý půdou apod.), 2 – svislá skalní stěna a její expozice, 3 – rozsáhlý šikmý skalní povrch, 4 – skalní průchod, 5 – osamělý balvan, 6 – skalní věž, 7 – jeskyně, 8 – polojeskyně (abri), 9 – viklan, 10 – foliace, 11 – balvanové moře, balvanový proud, 12 – jiný balvanový pokryv (do 50 % plochy), 13 – skalní zřícení, 14 – erozní rýha: v nesoudržném materiálu – ve skalní hornině, 15 – údolnice svahového úpadu, 16 – hrana nivního stupně: výrazná – nevýrazná, 17 – hrana vzniklá podřezáním svahu, 18 – deluvio-proluviální kužel, 19 – proluviální kužel, 20 – hranice svahové plochy. Čísla v závorce – číslování balvanových akumulací a skalních útvarů, popř. jejich skupin použité v textu.

Abb. 4. Schematische Karte der Hangfläche Nad papírnou. – Erläuterungen: 1 – Felsenrippe, Felsenkamm: kompakt – zerbrochen, mit Boden bedeckt usw., 2 – vertikale Felswand und ihre Exposition, 3 – ausgedehnte schiefe Felsenfläche, 4 – Felsendurchgang, 5 – einzelstehender Block, 6 – Felsenturm, 7 – Höhle, 8 – Abri, 9 – Wackelstein, 10 – Foliation, 11 – Blockmeer, Blockstrom, 12 – andere Blockdecke (weniger als 50 % von Oberfläche mit Blöcken bedeckt), 13 – Akkumulation vom Felsenfallen, 14 – Erosionsrinne: im Lockermaterial – im Felsgestein, 15 – Achse des Hangdellens, 16 – Kante des Auenniveaus: gut – schlecht ausgeprägt, 17 – durch Unterschneiden entstandene Hangkante, 18 – deluvio-proluvialer Kegel, 19 – Schwemmfächer, 20 – Grenze der Hangfläche. Nummern in Klammern – im Text angewandte Numerierung von Blockakkumulationen und Felsenformen, bzw. ihren Gruppen.

Balvanové moře 3 zaujímá plochu asi 15×15 m a má rovněž neostré hranice. Jeho sklon je poněkud vyrovnanější a činí asi 34°. V dolní části spočívá visutě na zbytcích skalního útvaru. Největším balvanem je deska o délce 2,5 m. Značný je podíl úlomků o velikosti 20–40 cm v nejdelší ose, a to zvláště na v. okraji.

Stáří menší než mindel dokládá u balvanových akumulací ležících níže než 30 m nad řekou jejich poloha pod úrovní úrovně V sensu ZEMAN (1973). Jedná se o balvanové moře 2 a 4 na ploše Nad papírnou a o balvanový proud 3 a balvanové moře 4 na ploše Výří skály. Dvě posledně jmenované větší akumulace sahaly původně pravděpodobně až ke korytu Dyje, později však byly podřezány bočnou erozí, takže dnes leží ve visuté poloze.

Vliv odolnosti hornin na rozložení největších balvanových moří v NPP

Největší balvanové balvanové akumulace v NPP leží v údolí Dyje a jsou patrné z leteckých fotografií jako plochy bezlesí. Jedná se o tyto lokality (řazeno po proudu Dyje): SV od Ledových slují, pod Hardeckou vyhlídkou, v trati Kirchenwald v Rakousku, Výří skály, proti ústí Hajského potoka a Sealsfieldův kámen. Pořadí podle velikosti souvislé plochy balvanových akumulací zjištěné z leteckých fotografií je následující: Kirchenwald, ústí Hajského potoka, Sealsfieldův kámen. Na rozmístění balvanových akumulací v NPP mají vedle expozice největší vliv geologické faktory – litologie (mineralogické složení a textura) a strukturní plán.

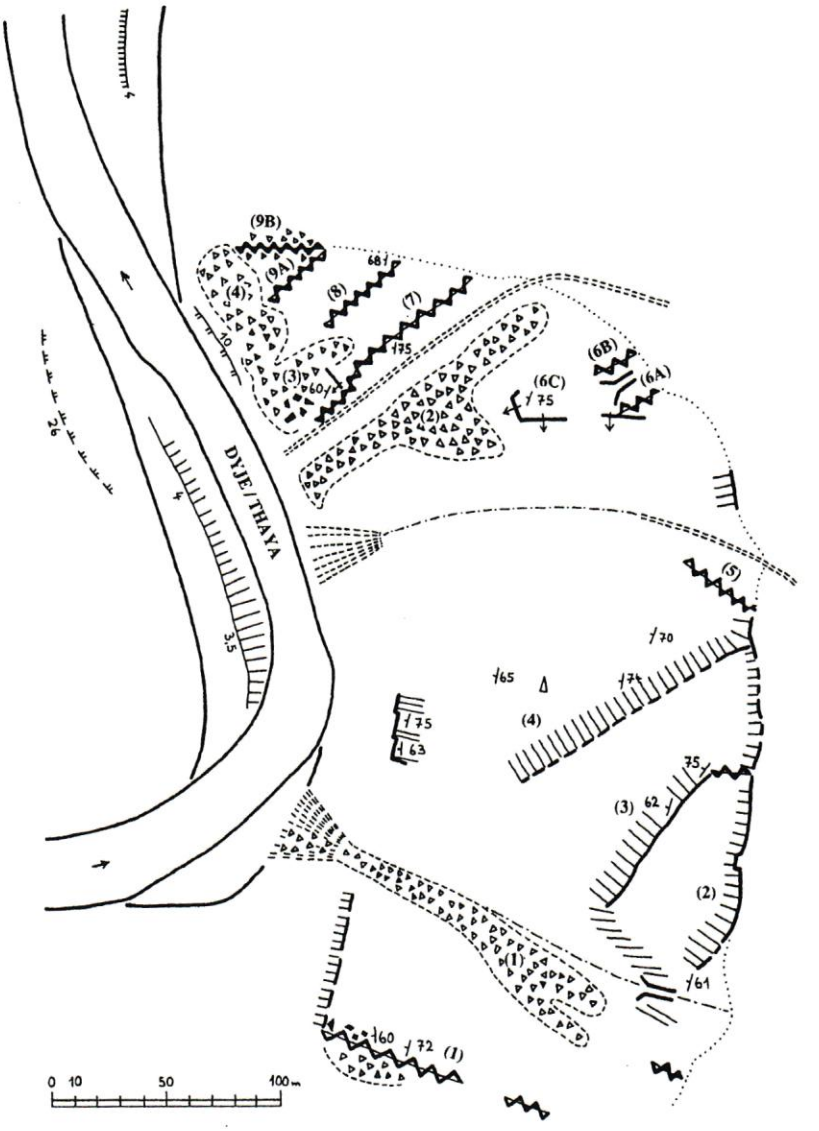
První dvě z výše jmenovaných lokalit balvanových akumulací leží na území bítešské ortoruly. Z hlediska mineralogického složení a textury představuje bítešská ortorula snad horninu téměř stejně příznivou pro tvorbu balvanitých úlomků jako dyjský granit.

Na území lukovské jednotky neleží žádná výraznější balvanová akumulace. Poměrně tence foliované svory, které tvoří převážnou část této jednotky, podléhají rychlému mechanickému rozpadu a téměř netvoří balvanité zvětraliny.

Čtyři z šesti výše jmenovaných lokalit leží v oblasti dyjského masívu. Granit je svým mineralogickým složením i texturou dosti příznivý pro vznik balvanitých úlomků. Tato hornina podléhá relativně pomalé dezintegraci a může poskytovat dostatek balvani-

tých úlomků. Granity patří spolu s diority, gabry, bazalty, rulami, event. dalšími krystalickými břidlicemi, kvarcity, křemennými pískovci k horninám s největší tendencí ke tvorbě akumulací velkých úlomků.

Odolnost hornin se projevuje také na rozložení skalních útvarů, jak na to bylo již vícekrát poukázáno (např. IVAN, KIRCHNER 1994), a sice do značné míry obdobně jako u balvanových moří. V lukovské jednotce jsou sice skalní útvary zastoupeny, avšak mno-



Obr. 5. Schematická mapa svahové plochy Výří skály. – Vysvětlivky – viz obr. 4.
Abb. 5. Schematische Karte der Hangfläche Výří skály. – Erläuterungen – s. Abb. 4.

hem méně než v bítešské jednotce. Největší množství skalních útvarů se vyskytuje v dyjském masívu.

Ze čtyř výše zmíněných lokalit balvanových akumulací v dyjském masívu leží tři (Výří skály, proti ústí Hajského potoka a Sealsfieldův kámen) v úseku pod Šobesem. Jejich největší koncentrace zde zřejmě není ani tak podmíněna větším sklonem svahů v úseku zasaženém mladší vlnou zpětné eroze, jak bylo dosud uvažováno (BRZÁK 1999), nýbrž je spíše dána převažující orientací toku Dyje vůči k foliaci dyjského granitu, jak ukazuje srovnání lokalit Sealsfieldův kámen, Nad papírnou a Výří skály.

Rozložení balvanových moří na dosud studovaných lokalitách

Vliv expozice

Rozdíly v insolaci aktivního povrchu, a tedy i v průměrné teplotě povrchové části půdy musely být na různě exponovaných svazích o sklonu 27–39° během chladných období pleistocénu značné. Domnívám se, že kvůli málo rozvinuté vegetaci byly ještě větší než v současnosti. Nejpříznivější podmínky pro vývoj balvanových moří panovaly na chladných zastíněných svazích, kde se jednak mrazovým zvětráváním uvolňovalo největší množství balvanů a kde byl také v největší míře přítomen permafrost, po němž se tyto úlomky pohybovaly geliflukcí směrem dolů. Za spolupůsobení strukturních vlivů tak největší balvanové proudy vznikly na s. až ssz. svahu pod Sealsfieldovým kamenem, zatímco na ploše Výří skály exponované k SZ, Z až ZJZ vznikly menší alochtonní balvanové pokryvy. Na j. svahu Nad papírnou se nacházejí pouze malá alochtonní balvanová moře, jejichž charakter v nejmenší míře ukazuje na pohyb po permafrostu.

Vliv strukturního plánu

Expozice ke směrům s východní složkou, je chladnější než expozice k odpovídajícím směrům se západní složkou. Expozice k SV je chladnější než expozice k SZ, popř. nejchladnější vůbec, jak dokládají například PROSOVÁ, SEKYRA (1961). Ve zkoumaném území se přitom na údolních svazích skloněných do směrů s východní složkou balvanová moře nevyskytují, ačkoliv se jedná o svahy stejného sklonu na stejné hornině. Například velmi strmý k V obrácený údolní svah na vnější straně říčního zákrutu, který tvoří pokračování protisvahu Výřích skal je zcela hladký, bez skalních útvarů a balvanových akumulací.

Mrazovým zvětráváním a procesy svahové modelace byly totiž úlomky velikosti balvanů uvolňovány masivně na těch chladných svazích, kde jsou odlučné plochy orientovány příznivě. V granitech dyjského masívu tvoří nejvýraznější, nejhustší systém odlučných ploch foliace. Na plochách Sealsfieldův kámen, Výří skály a Nad papírnou byl měřením zjištěn její značně vyrovnaný průběh: sklon 50–75° a směr sklonu 265–295°. K nejmasivnějšímu uvolňování balvanů docházelo na těch svazích, které se sklánějí podobným směrem jako foliace, a jsou současně relativně chladné. Úlomky se z foliačních ploch mohly uvolňovat v podobě drobných a častých planárních řícení (sensu NEMČOK, PAŠEK, RYBÁŘ 1974). Především v místech, kde foliační plochy vytvářejí rozsáhlé plotny, se mohlo jednat i o řícení větších rozměrů. Největší balvanové proudy se proto nacházejí na s. až ssz. svahu pod Sealsfieldovým kamenem, zatímco na ploše Výří skály vznikly menší balvanové akumulace. Na ploše Nad papírnou se ze skalních útvarů uvolňovalo podstatně menší množství velkých úlomků, a to většinou nikoliv podle foliačních ploch, které se generelně sklánějí dovnitř do svahu, nýbrž podle jiných puklinových ploch.

Expozicí podmíněné rozložení balvanových moří je tedy modifikováno strukturním plánem, především průběhem foliace.

Skalní zřícení

Balvanové akumulace tohoto typu se vyskytují na obou plochách. Vyznačují se malou plochou, poměrně velkou mocností, mají nerovný povrch s velmi nevyrovnaným sklonem.

Výrazné zřícení se nachází pod velkou skalní stěnou v dolní části žebra 7 na Výřích skalách. Největším zříceným blokem je na povrchu ležící deska s nejdelší osou po spádnici o rozměrech 6,60×2,15×0,75 m. Původně byla dlouhá dokonce 8,80 m a praskla nejspíše mrazem na místě, jak dokazuje téměř stejně orientovaný úlomek na horním konci. Hmota skalního zřícení vystupuje nad povrch balvanového proudu 3 a zřícení je tedy mladší než proud, nejspíše holocénní.

Velkými planárními říceními po plochách foliace se oddělovaly bloky ve skalních koutech na s. straně žebra 1 při dolním konci. K největším zříceným blokům patří jednak stojící deska o rozměrech 6,40×2,65×0,85 m opřená o foliační plotnu, jednak ležící deska rozměrů 5,80×2,60×0,85 m s nejdelší osou ve směru vrstevnice. Menší zřícené bloky lze pozorovat také při úpatí skalních stěn v oblasti 2 a 3, zejména v blízkosti převisů. Největší koncentrace úlomků je při úpatí stěn, směrem od stěn klesá. Největší úlomky pod převisy v oblasti 2 jsou trojúhelníkovitá deska o rozměrech 4,40×3,40×0,80 m a obdélníková deska 4,60×3,20×0,80 m.

Rozměr ve směru nejkratší osy je u zřícených bloků na lokalitě Výří skály poměrně stálý (70–85 cm) a je dán vzdáleností zhruba rovnoběžných odlučných ploch vázaných na foliaci granitu.

Největší skalní zřícení se nachází na svahové ploše Nad papírnou. Jeho odlučnou oblastí byl dolní skalní kout a čelní stěna žebra 3. Část skalního masívu podléhající odsedávání (viz dále) se posléze zřítila. V akumulaci převládají polyedrické úlomky, méně časté jsou mocně deskovité. Mocnost zřícení je značná, jen mocnost od povrchu do nejhlubších dostupných volných prostor činí asi 6 m. Volné prostory mezi bloky jsou značně velké, místy mají charakter tzv. suťových jeskyní. Polyedrický tvar úlomků je dán oddělováním na odlučných plochách různých puklinových systémů.

Skalní útvary, jejich ovlivnění puklinatostí a foliací horniny

Svahovou plochu Nad papírnou člení velké množství skalních útvarů, především skalní žeber a hřebenů. Skalní žebra probíhají nejčastěji vzájemně rovnoběžně v azimutálním směru 25–30°. Na generelně rovinné kompaktní ploše se odchylují od spádnice asi o 15°. Jejich pravidelný průběh je určen foliací granitu.

Skalní útvary mají v naprosté většině ostré hrany. Dokonce i asi 1m vysoké skalky na starém plochém reliéfu nad horní hranou, rovněž protáhlé ve směru foliace, mají velmi ostré hrany. Oblé tvary mají pouze skalky v nejhornější části oblasti 2A, které tvoří hřebenovitý útvar spadající k V stěnkami asi 2 m vysokými. Zaoblení těchto skalek ukazuje na značný vliv chemického zvětrávání.

Nejvýraznějším skalním útvarem je žebro 6, které je ze všech skalních žeber nejdelší. Denivelace tohoto souvislého skalního útvaru dosahuje asi 90 m (od úpatí žebra 6D po vrchol). Představuje nejvyšší skalní útvar v dyjském masívu. Žebro 6D uskakuje u viklanu náhle k V. Podstatně více se mění směr žebra 6C, takže se obě žebra spojují v mohutný skalní hřeben.

Velmi dlouhé je také žebro 10B. To však výrazně převyšuje své z. okolí pouze v dolní části. Také skalní povrchy na opačné straně nejsou tak příkré a hladké jako u žebra 6. Žebro 10B je celkově více zvětralé, místy pokryté půdou. Kratší, avšak kompaktnější je žebro 3, které je v dolní části na všech stranách omezeno příkrými stěnami.

V z. omezení všech žeber naprosto dominují foliační plochy. Velké souvislé plotny vázané na plochy foliace bočně omezují ostrý, poměrně krátký hřeben ve skupině 9. V horní části mají orientaci 77/280.[1] Také výrazná skalní ostruha v jjv. sousedství výrazného skalního koutu v oblasti 4 spadá zhruba k Z velkou souvislou plotnou foliace. Rozsáhlé plotny se nacházejí také na z. straně žebra 10C. Horní z nich ve skalním koutě měří ve spádnici 11 m a její orientace je 73/285.

Stěny žeber na východní straně probíhají po puklinových systémech různých směrů. Největší souvislé šikmé skalní povrchy leží na v. straně žebra 6 v jeho horní části.

Některá skalní žebra jsou dole ukončena výraznými čelními stěnami, vázanými na průběh příčných puklinových ploch. Největší z nich je trojúhelníkovitá čelní stěna na dolním konci žebra 10B vysoká asi 17 m. Její úpatí je dlouhé 33 m. Skalní stěna je nejstrmější při úpatí, výše stupňovitě ustupuje a její nejvyšší část plynule přechází v hřbetnici skalního žebra. Příčně probíhající čelní stěnou je ukončeno také žebro 3. Nápadně rovné je především její svislé až mírně převislé horní patro vysoké přes 10 m. Jeho skalní povrch má orientaci 87–95/202. Šikmé dolní patro porušené odsedáváním bloků je vysoké asi 6 m. Velmi výrazná je také rovná čelní stěna skalního útvaru 8. Její skalní povrch při úpatí má orientaci 94/210.

Po subvertikálních puklinových plochách příčných ke směru žeber a foliace probíhá místy také boční omezení skalních žeber. Především žebro 3 se tak směrem vzhůru vícekrát náhle rozšiřuje. Na jeho v. straně vznikly dva skalní kouty, jejichž výraznější stěny jsou zhruba rovnoběžné s čelní stěnou. Stěna dolního koutu je rovnější s povrchem orientace 90/190. Stěna horního koutu patří k nejvyšším svislým stěnám a je vysoká 12 m. Žebro 6C se rozšiřuje naopak na z. straně. Nad průrvou omezující skalní věžičku vznikla skalní stěnka s žlábkovými pseudoškrapy s povrchem orientace 90/200.

Puklinové plochy obdobné orientace omezují také skalní průchod hluboký asi 3,5 m, který odděluje masívní nízkou skalní věžičku od výše ležící části žebra. Obě boční stěny průchodu jsou mírně převislé (orientace stěn 97/198 a 100/10), takže se průchod směrem vzhůru zužuje z 50 cm na asi 40 cm. Průchod vznikl zvětráváním v místě větší frekvence puklin, jak je vidět pod ním na v. skalní stěně.

Skalní útvary tvoří menší část plochy Výří skály než je tomu na ploše Nad papírnou. Foliace má vyrovnaný průběh: sklon 60–75°, směr sklonu 278–295°. Svahová plocha je přitom vlivem pozice na vnější straně údolního zákrutu celkově konkávně prohnutá.

Ve střední části, kde má svah generelní směr blízký směru foliace, dominují stupně tvořené pásy skalních stěn (oblast 2, 3, dolní část oblasti 4 – obr. 1). V s. části, kde se celkový směr plochy svahu od směru foliace značně liší, vznikly převážně asymetrické ve směru sklonu svahu protáhlé skalní útvary, které spadají zhruba k SV šikmými stěnami vázanými na foliační plochy a na opačnou stranu strmějšími stěnami probíhajícími po různých puklinových systémech (skalní útvary 6A, 6B, skalní žebra 7, 8, 9A).

Ze skalních útvarů probíhajících po spádnici je nejvýraznější žebro 7. V dolní části spadá skalní stěnou s výraznými převisy při horní hraně. Horní část má menší sklon a charakterem odpovídá skalnímu hřebeni.

Žebro 1 spadá k S vyššími stěnami vázanými na subvertikální puklinové plochy orientace 82/22, popř. 91/22, v kratších úsecích také na plochy foliace, takže vznikla série skalních koutů. Na opačné straně žebro převyšuje okolní terén méně. Temeno žebra probíhá po plochách foliace.

---

1 První číslo značí sklon plochy, druhé směr sklonu plochy (oboje ve stupních). Vzhledem ke geomorfologické aplikaci měření nabývá sklon pro převislé skalní povrchy hodnot přes 90°. Druhé číslo vyjadřuje směr expozice skalního povrchu, který je u převislých povrchů opačný ke směru sklonu. Tedy např. skalní povrch orientace 97/122 odpovídá odlučné ploše orientace 83/302.

V celkové morfologii se odlučné plochy různé od foliace nejvíce projevují na skalním útvaru 6C. Rovinná boční stěna si uchovává v celé ploše stálou orientaci 94/165. Zajímavým tvarem je také skalní průchod nad proudem 1. Jeho boční stěny jsou vázány na puklinové plochy a mají orientaci 93/202, popř. 95/205, a 84/20. Směrem vzhůru se průchod zužuje až na 3,80 m.

Na vystupujících částech skalních útvarů se často vyskytují projevy exfoliace granitu (IVAN, KIRCHNER 1995).

Velmi hojné jsou exfoliační slupky silné pouze několik milimetrů až několik centimetrů o ploše několika metrů čtverečních. Exfoliační slupky i lavice mocné několik desítek centimetrů jsou často značně skloněné. Na konvexních částech skalních útvarů mnohde přecházejí z foliačních ploch směrem vzhůru na méně skloněné puklinové plochy.

Tvary vzniklé odsedáváním skal

Na svahu Nad papírnou se značně uplatňuje odsedávání skalních hmot, a to jak směrem do údolí Dyje, tak také zhruba jv. směrem do depresí mezi jednotlivými žebry.

Nejvýraznější formou vzniklou odsedáváním je jeskyně, která v podobě úzkého tunelu sledujícího puklinové plochy prochází napříč celým žebrem 3. Celková délka jeskyně je 8,50 m. Tunel se skládá ze dvou přibližně stejně dlouhých částí. Ve východní části si dno udržuje relativně stálou výšku a probíhá po puklině 90/20. Šířka v. vchodu je asi 30 cm. Po asi 1,5 m se rozšiřuje na 60–70 cm. Po asi 4,30 m jeskynní tunel přechází v západní část, kde dno nejprve prudce, potom mírněji stoupá, celkově asi o 1 m. V této části jeskyně probíhá po puklině 64/356. Výška jeskyně silně kolísá, neboť strop je tvořen vertikálně orientovanými velkými deskovitými balvany, které zapadly do rozsedliny různě hluboko. Největší výška ve v. části činí asi 2,5 m. V místě protínání puklinových systémů odbočuje kratší chodba šikmo dolů. Řídící puklina v. části probíhá rovnoběžně s puklinovou plochou horního patra čelní stěny žebra 3, a to ve vzdálenosti pouze 6,30 m od ní. Podle dělení pseudokrasových jeskyní (např. STRIEBEL 1999) má jeskyně ve své většině charakter rozsedlinové jeskyně, s tím, že její strop odpovídá spíše tzv. jeskyním suťovým.

Odsedáváním vznikly i zajímavé povrchové tvary. Ostruhovitý skalní útvar jjv. od skalního koutu ve skupině 4 odsedává po skalní ploše sklánějící se zhruba k JV. Tato plocha tvoří také dno obrovského, obtížně přístupného skalního koutu, jehož vypadaná skalní hmota po ní před zřícením také pravděpodobně odsedávala.

Odsedávání se děje nejen ve směru spádnice určité příhodně skloněné puklinové plochy (sklon zhruba 20–35°), ale méně často také ve směru průsečnice dvou puklinových ploch. Tehdy ze zhruba svislých stěn vyjíždějí směrem ven bloky či celé partie skály členěné dalšími puklinami, které mají v čelním pohledu průřez dolů se svírajících klínů (trojúhelníků, kosočtverců apod.).

Na svahové ploše Výří skály se odsedávání skal uplatňuje v mnohem menší míře. Odsedáváním kvádrovitého bloku v dolní části velké skalní stěny žebra 7 vzniklo skalní okno.

Puklinové plochy, po nichž se posouvají skalní hmoty, nedosahují na žádné z lokalit frekvence foliačních ploch. Na svazích obdobného sklonu a litologie nastávají nejpříznivější podmínky pro odsedávání skal tehdy, jestliže se víceméně rovnoběžné plochy foliace sklánějí po svahu se sklonem zhruba 20–40°. Tyto podmínky jsou splněny na lokalitě Ledové sluje, která je odsedáváním svahu postižena v mimořádném rozsahu. Větší sklon foliačních ploch není příhodný pro odsedávání skal, uvolněné části skalní hmoty podléhají nejčastěji planárnímu řícení.

Závěr

Podrobná morfometrická a morfostrukturní analýza byla východiskem pro hledání společných a rozdílných rysů kvartérního vývoje svahových lokalit.

Obě svahové plochy se nacházejí na vnější straně údolního zákrutu Dyje a mají obdobný sklon. Od okolních strmých svahů na granitech se liší větším množstvím skalních útvarů a volných balvanů. Oba svahy byly formovány především procesy gravitačními a kryogenními, které dosáhly největší intenzity v chladných obdobích pleistocénu. Jejich vývoj se však v závislosti na expozici a struktuře značně lišil.

Na svahové ploše Nad papírnou obrácené zhruba k J leží větší skalní útvary. Jejich destrukce probíhala pomaleji vlivem menší intenzity mrazového zvětrávání spojené a vlivem zapadání foliačních ploch do svahu. Časté jsou tvary vzniklé odsedáváním skal po puklinových plochách příhodně skloněných po svahu, z nichž nejzajímavější je tunelovitá jeskyně. Balvanová moře jsou menších rozměrů, mají méně vyrovnané sklony a nejeví známky většího přemísťování po permafrostu.

Na svahové ploše Výří skály obrácené k SZ až ZJZ zaujímají skalní útvary menší část. Na tomto více zastíněném svahu docházelo k intenzivnímu mrazovému tříštění a sjíždění úlomků po foliačních plochách skloněných ve směru blízkém směru sklonu svahu v podobě drobných planárních řícení. Značný sklon foliačních ploch a absence ploch mírně skloněných po svahu neumožnily významnější odsedávání skal. Dochované rozsáhlejší akumulace s poměrně vyrovnaným sklonem – především proud 2 – svědčí pro geliflukční transport balvanů. Tento největší balvanový proud lze na základě jeho polohy v údolí zařadit do rissu či würmu. Také u všech ostatních balvanových akumulací ležících níže než 30 m nad řekou dokládá jejich poloha pod úrovní V sensu ZEMAN (1973) stáří menší než mindel.

ZUSAMMENFASSUNG

Beide untersuchten Hangflächen befinden sich an der Aussenseite des Talmäanders und sind von ähnlicher mittlerer Neigung (37°, bzw. 39°). Von den anliegenden Hängen unterscheiden sich durch die grössere Zahl von Felsenformen, Blockströmen und Blockmeeren. Beide Hänge wurden vor allem von gravitativen und kryonivalen Prozessen gestaltet, die in den pleistozänen Eiszeiten am meisten intensiv waren. Ihre Entwicklung war jedoch in Abhängigkeit von Exposition und Struktur ziemlich verschieden.

Die Frostverwitterung und Gelifluktionsbewegung der Blöcke war intensiver an der gegen Westen orientierten Hangfläche Výří skály, wo die Foliationsflächen des Granits hangabwärts geneigt sind. Durch die Gelifluktion wurde auch der grösste, etwa 140 m lange ud bis 44 m breite Blockstrom 2 gestaltet. Dieser Blockstrom reicht unter das Mindel – Terrassenniveau und stammt also aus der Riss- oder Würmeiszeit.

Die Blockmeere an der gegen Süden orientierten Hangfläche Nad papírnou wurden durch die Gelifluktion weit weniger gestaltet. Einige von ihnen entstanden durch die Frostverwitterung in situ. Bei der Bewegung der Gesteinspakete kam nicht die schräg in den Hang geneigte Foliation, sondern subvertikale und hangabwärts orientierte Kluftsysteme zur Geltung, an denen auch eine kleine Spaltenhöhle entstand.

Die Blockströme und Blockmeere im NP Podyjí (Thayatal) sind an den Thayagranit und an den Orthogneis von Bíteš gebunden. In der Einheit von Lukov (Hardegger und Terrassburger Serie), deren Glimmerschiefer überwiegend feinkörnig zerfallen, kommen keine Hangakkumulationen dieser Art vor.

LITERATURA

BRZÁK, M., 1998: Nové poznatky o vývoji údolí Dyje mezi Vranovem a Znojmem na základě morfografické analýzy a výzkumu fluviálních sedimentů. – Sborník ČGS, 103, 1:31–45. Praha.

BRZÁK, M., 1999: Hlavní výsledky výzkumu balvanových proudů pod Sealsfieldovým kamenem. – Pseudokrasový sborník, 1:34–39. Česká speleologická společnost Praha.

CZUDEK, T., 1988: Údolí Nízkého Jeseníku. – 97 s. Academia Praha.

IVAN, A., KIRCHNER, K., 1994: Geomorphology of the Podyjí National Park in the southeastern part of the Bohemian Massif (South Moravia). – Moravian Geographical Reports, 2, 1:1–25. Brno.

IVAN, A., KIRCHNER, K., 1995: Granite landforms in the Podyjí National Park, South Moravia. – Acta Montana IRMS AS CR, Series A, 8 (97):17–27.

KLATKA, T., 1962: Geneza i wiek goloborzy łysogórskich. – Acta Geographica Lodziendzia, odd. 3, 81:1–124.

NEMČOK, A., PAŠEK, J., RYBÁŘ, J., 1974: Dělení svahových pohybů. – Sb. geol. věd, HIG, 1974, 11:77–97.

PROSOVÁ, M., SEKYRA, J., 1961: Vliv severovýchodní exposice na vývoj reliéfu v pleistocénu. – Čas. min. geol. 6, 4:449–463.

RUBÍN, J., 1982: Ke klasifikaci a terminologii balvanitých, kamenito-štěrkovitých a podobných akumulací. – Sb. ČSCS, 87, 4:295–299, 20 foto.

RUBÍN, J., BALATKA, B., et al. 1986: Atlas skalních, půdních a zemních tvarů. – 385 s. Academia Praha.

STRIEBEL, T., 1999: Typy pískovcových a žulových jeskyní v okolí Bayreuthu, SRN. – Pseudokrasový sborník, 1:54–57. Česká speleologická společnost Praha.

ZEMAN, A., 1973: Současný stav výzkumu pleistocénních fluviálních sedimentů v Dyjsko-svrateckém úvalu a jejich problematika. – Studia geographica, 36:41–60 + 3 obr. a 6 fotografií v příloze. Brno.