

# Svahové pohyby na Machu Picchu

*Je význačná archeologická lokalita ohrožena?*

**JIŘÍ ZVELEBIL  
VÍT VILÍMEK**

Machu Picchu, horské město Inků, ční ze hřbetu And vysoko nad kaňonem řeky Urubamby. Pro svět bylo objeveno až r. 1911, a později archeologové zjistili, že nebylo městem jediným. Obdobná sídla byla objevena a odkryta i na dalších místech. Obklopovaly je satelitní systémy zemědělských teras, směle postavených na neuvěřitelně strmých horských úbočích. Na terasách se rozkládala skromná políčka i pastviny. Z pozorovacích plošin, zřízených na vrcholcích hor, bylo vidět posvátné horské štíty, pokryté věčným sněhem a ledem, ale i hlubinu kaňonu Posvátné řeky (Wilkamayu), jak znělo tehdejší jméno Urubamby. Podél řeky se prostírala pole, která byla uměle zavlažována, a proto se zelenala po celý rok. Na dlážděných cestách, spojujících všechna lidská sídla, panoval čilý ruch. Karavany lam zásobovaly vysokohorská sídla subtropickými produkty pěstovanými v údolích (viz Vesmír 77, 157, 1998/3).

Ještě dnes jsou na koncích odboček od hlavních inkých cest vysekávána z horských torických lesů nová, dosud neznámá sídla. I na samotném Machu Picchu přibýly v 80. letech 20. století další objevy. Navíc zde navzdory intenzivním výzkumům, trvajícím 90 let, stále zůstává řada nezodpovězených historicko-archeologických otázek. V posledních třech letech se k nim připojily otázky inženýrskogeologické a geomorfologické, o nichž se bouřlivě diskutuje. Nejzávažnější z nich zní: Hrozí destrukce centrální části Machu Picchu v důsledku obrovského skalního sesuvu?

## Mekka archeologů a turistů

Machu Picchu patří z řady významných kulturních památek v Peru k těm nejslavnějším a pro většinu obyvatel je posvátným místem. Zároveň je i jeho hlavní turistickou lokalitou. Nalézá se v jižní části země, asi 110 km severozápadně od města Cuzka v horském systému Východních Kordiller. Převážná část města leží v nadmořské výšce 2450 až 2800 metrů na hřbetu mezi horami Machupicchu na jihu a Huaynapicchu na severu. Hřbet tvoří jádro velkého, zaklesnutého meandru řeky Urubamby, tekoucí ve výšce 2000 m n. m.

Okolí Machu Picchu je charakteristické vysokými, neobyčejně strmými skalními stěnami. Řeka Urubamba proráží kaňon granitickými horninami permského stáří, které jsou pevné a odolné vůči zvětrávání, a proto zůstaly svahy kaňonu extrémně přík-

ré. V důsledku velkého rozpětí ve vertikální členitosti reliéfu je v této andské oblasti neobyčejně bohatá fauna a flóra (vyskytuje se v mnoha ekologických zónách a habitatech).

V lednu 1981 vyhlásil peruánský prezident Machu Picchu za chráněnou oblast (o rozloze 32 592 hektarů) a za součást státního systému přírodních rezervací. O dva roky později bylo Machu Picchu zapísáno do Seznamu světového kulturního a přírodního dědictví UNESCO.

## Objev století

Počátkem 20. století byla ve strmých svazích kaňonu Urubamby vystřílena stezka pro muly. Použila ji i výprava Yaleovy univerzity a americké Národní geografické společnosti, která v této odlehle části And hledala ztracené incké město Vilcabambu. Domorodec Melchor Artega z malé usedlosti Mandorpampa pověděl vůdci expedice Hiram Binghamovi, že se vysoko nad nimi, na hřebeni, nacházejí „nějaké docela pěkné incké ruiny“. Dne 24. července pak dovedl nedůvěřivého Binghamu, po výstupu celého zpotčeného, na místo, kde dvě indiánské rodiny z porostu vysekaly několik teras. Naštěstí Bingham svou skepsi překonal a vnořil se do hustého pralesa za nimi. Téměř okamžitě narazil na „nejdokonalejší zdivo, jaké kdy v životě viděl“. Od této chvíle hýří Binghamovo líčení výroky jako *Vyrazilo mi to dech! Fascinující!* či *Stěží jsem uvěřil vlastním očím. Je to pochopitelné, neboť učinil jeden z nejvýznamnějších objevů v historii archeologie.*

Poté již expedice stíhala expedici. K archeologům cizím i domácím se záhy přidali turisté. Stezku pro muly vystřídala železnice. Ta zůstala hlavním přístupem k Machu Picchu dodnes, a proto je nutno rezervovat si jízdenku dlouho předem. Jen ti nejbohatší mohou použít i vrtulník. K staré incké stezce pro pěší přibyla v roce 1948 silnice pro autobusy, pendlující mezi železniční stanicí, která se rozrostla v turistické městečko, a parkovištěm u horského hotelu v blízkosti ruin. Silnice nese jméno jejich objevitele – Binghamova cesta. Hiram Bingham byl ostatně osobně přítomen jejímu otevření.

## Machu Picchu očima geologa

Machu Picchu leží přímo na křížení geologických zlomů. Odnosem méně odolných, tektonicky rozdrcečných granitů a tonalitů vznikla v meandru Urubamby sníženina mezi vrcholky Huaynapicchu a Machupicchu. Okrajové zlomy zóny proto nesou jména těchto hor. Geologicky velmi nedávnou aktivitu tektonických pohybů prozrazují některé geomorfologické příznaky. Například výrazné zvýšení spádu Urubamby při průchodu touto zónou svědčí o tektonickém pohybu – resp. o zdvihu jedné části, či poklesu druhé.

---

**RNDr. Jiří Zvelebil, CSc., (\*1952)** vystudoval Přírodovědeckou fakultu UK v Praze. V Ústavu struktury a mechaniky hornin AV ČR se specializuje na rizikové geodynamické procesy, zejména na porušování skalních svahů, kontrolní sledování stavu narušených svahů a časové prognózy okamžiků vzniku říčení (Pamír, Ťan-Šan, Alpy, Itálie, Řecko).

**RNDr. Vít Vilímek, CSc., (\*1959)** vystudoval Přírodovědeckou fakultu UK v Praze. Na Katedře fyzické geografie a geoekologie PŘF UK se zabývá geomorfologickým vývojem tektonicky aktivních oblastí a území s vysokou dynamikou současných reliéfových procesů. Pracuje několik let v Peru. V minulosti působil také ve střední Asii a v orogeneticky aktivních oblastech Evropy.



1. V těsné blízkosti hotelu začínají poměrně rozlehlé plochy teras, které obklopují vlastní historickou lokalitu. Údolím protéká řeka Urubamba. Svahy jsou velmi strmé a místy jsou porušeny čerstvými sesuvy (např. světlejší pruh vpravo). Snímek © Vít Vilímek

(Velký spád řeky využívá hydroelektrárna, která zde byla v minulosti vybudována s pomocí českých geologů.) Jiné znaky, včetně orientace ohlazů na zlomových plochách, jež jsme sledovali v bezprostředním sousedství staveb, však mluví i o podélných posunech.

Sama plošina v horském sedle, skýtající Inkům příhodné stavební místo, vznikla pravděpodobně sesuvnou deformací během dávného silného zemětřesení. Bok hory popojel do údolí, a tím vznikla specifická forma nazývaná zdvojený hřeben. O mocné síle tohoto zemětřesení svědčí i obrovské horninové bloky chaoticky rozházené po této plošině. Pocházejí z masivu roztrhaného hřebene a částečně snad i z materiálu zříceného z jedné hory. Tak byl v 15. století na místě připraven i stavební materiál pro Inky. Ti velké bloky začlenili do základů staveb tak, jak byly, nebo je ve dvou lomech štěpili na menší, které pak použili jako kameny stavební. Nešlo tedy o lomy v pravém slova smyslu.

Svahovými pohyby na Machu Picchu se inženýrští geologové začali zabývat po čtyřech skalních říceních, následujících po sobě v prosinci 1995 a lednu 1996. Při každém z nich se zřítilo několik tisíc kubických metrů kamení. Dvě z nich, s odlučnou oblastí těsně pod spodní hranicí citadely, značně poškodily Binghamovu silnici. Třetí se odehrálo ze svahu hory Putucusi na protilehlém břehu Urubamby a zřícená hmota skončila těsně u železniční stanice. Jako poslední se zřítla výrazná skalní stěna v pravém boku kaňonu Urubamby, která vznikla na zlomu Machu Picchu, cca 1,5 km severovýchodně od rozvalin.

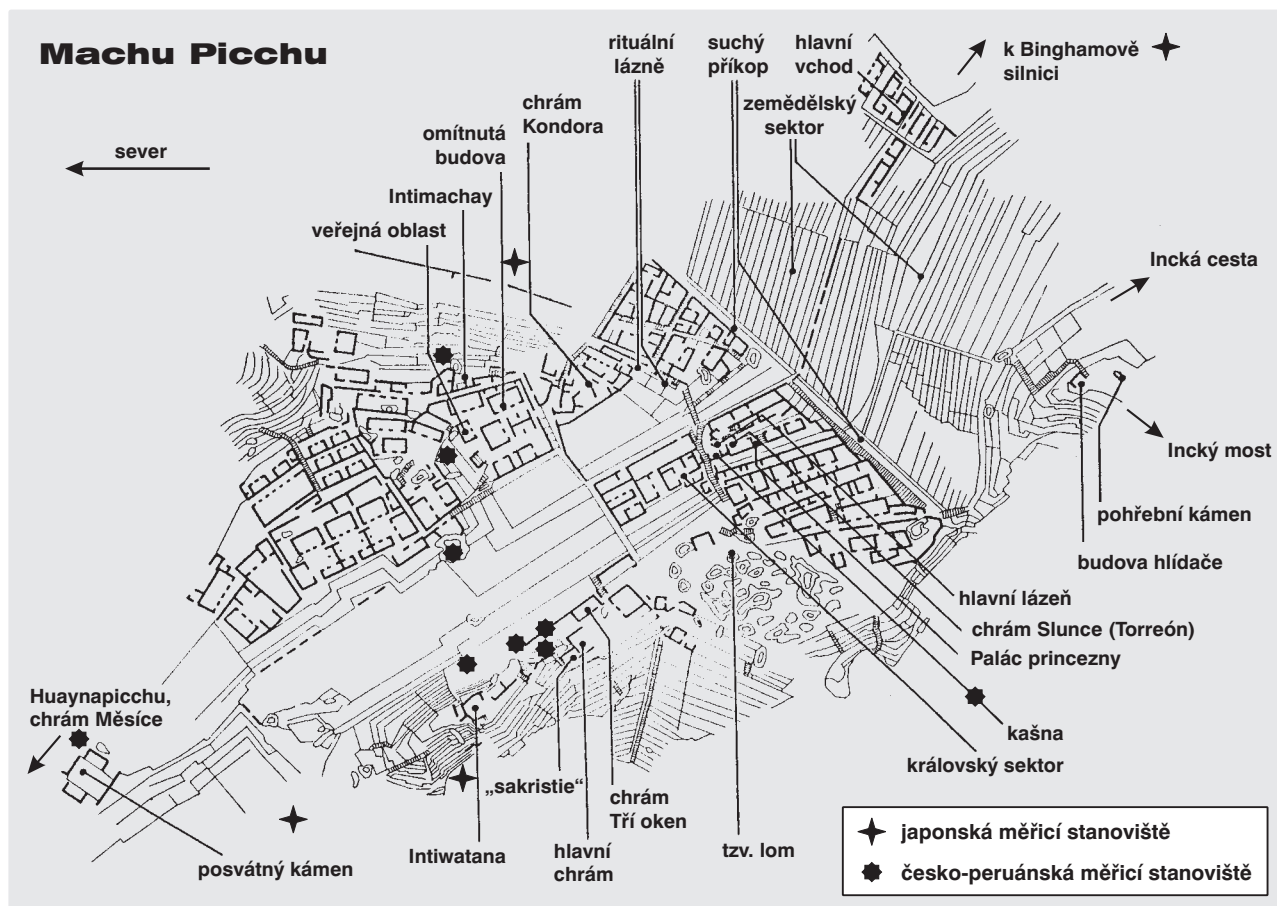
Vzhledem k historickému a ekonomickému významu lokality pracovali v týmu peruánských geologů i experti R. Careño a C. Bonard. Posledně jmenovaný je profesorem z Polytechniky v Lausanne. Vyjádřili názor, že řícení svědčí o aktivitě mohutných svahových poruch stability, které se (podobně jako v Alpách) dlouhodobě vyvíjely po celé výšce svahů.

#### Co říkají indikátory působení svahových pohybů?

Na základě morfoloogických příznaků – tvarů deformace povrchu – vymezili R. Careño a C. Bonard na severovýchodním svahu Machu Picchu velké skalní sesuv o dvou větvích. Jedna větev pokrývá celou oblast Binghamovy silnice a vybíhá až na hřbet u horského hotelu. Druhá větev zabírá celý severní svah hory Machupicchu a vystupuje až těsně pod její vrchol. Objem skalních hmot dlouhodobě aktivovaných tímto sesuvem odhadli Švýcaři na 6 milionů m<sup>3</sup>. Rovněž upozornili na morfoloogické indicie (byť ne již tak jasné) dalších dvou velkých svahových poruch. Šlo o zbytek stejného svahu a část sedla s ruinami, a dále i o druhý – tj. západní svah hřebene a k němu přiléhající území sedla. Vezmeme-li v úvahu i tyto poruchy, bylo svahovými deformacemi postiženo celé centrální území citadely s nejcennějšími stavbami.

Jako příznak současné aktivity poruch postihujících rozvaliny citadely a Binghamovu silnici uvedli opakovaně porušení této silnice, zejména pak její poklesy ve vrcholové části sesuvu poblíž horského hotelu. Jen od r. 1982 bylo třeba silnici třikrát důkladně opravit. Její úroveň u hotelu se r. 1998 ocitla o 3 m níže, než byl dosavadní povrch.

Bez přímých, kvantitativních dat z kontrolního sledování však R. Careño a C. Bonard své závěry hodnotili jako alarmující, ale ne zcela průkazné. Přesto



požadovali, aby byly urychleně zahájeny dalších průzkumné práce, zejména systematické sledování ohrožených svahů.

Další práce na Machu Picchu zahájil až r. 2000 japonský tým profesora K. Sassy z Ústavu pro prevenci přírodních katastrof Kjótské univerzity (výzkum byl součástí programu UNESCO a Mezinárodní geologické unie „Ochrana lokalit světového kulturního dědictví před sesuvy“). Výsledky nového mapování, a zejména první výsledky kontrolního sledování okamžitě aktivity svahových pohybů byly alarmující. Vypadalo to, že je ohrožen archeologický areál i údolí Urubamby, a hlavně že místo přestává být bezpečné pro turisty.

Loni v létě se hodnocením stability Machu Picchu (na žádost peruánské agentury pro ochranu přírody

INRENA) zabývala i česká skupina. Potvrdila rozsáhlé, hluboko založené porušení hřebene, včetně deformační struktury jeho zdvojení, a sdělila, že většina porušení vznikla zřejmě za velkého zemětřesení ještě před Inky (teprve později zpevnili Inkové některé stěny hlubokých deformací terasami).

K stavebním potížím Inků v chrámovém okrsku města mohly přispět silně porušené smykové zóny zdvojení hlavního hřebene. Rozdrcené horniny jsou z těchto zón vyplavovány, a proto si stavby (např. chrám Slunce, Palác princezny či chrám Tří oken) sedají nestejně. Nejzřetelnější je porušení Hlavního chrámu (podle archeologů jej Inkové opustili ještě před dokončením). Nápadné také je, že na jihovýchodním svahu posvátného pahorku Intiwatana není ani jedna terasa, možná se na ne-

#### VÝJIMKA, NEBO PRAVIDLO?

V širším pohledu není svahová porucha hřebene Machu Picchu ničím zvlášť výjimečným, spíš naopak. Peruánské Andy jsou proslulé obrovskými ničivými říceními a skalními sesuvy. V roce 1974 zahradil skalní sesuv o objemu 1 miliardy m<sup>3</sup> údolí řeky Mantaro. Cestou zničil několik vesnic a zahubil 450 lidí. Přírodní hráz zadržela 670 milionů m<sup>3</sup> vody, a když se po 44 dnech protrhla, vznikla povodňová vlna vysoká 35 m. Jen díky včasné evakuaci údolí se protržení hráze obešlo beze ztrát na životech. (Pozn. red.: Podobný původ má – v menším měřítku – i Odlezeleské jezero na Plzeňsku, které vzniklo r. 1872 sesuvem svahu v údolí Mladotického potoka.) Tragédií skončilo říčení z hory Huascarán v roce 1970, které kromě vesnice Ranrahirca a městečka Yungay pohřbilo celou naši reprezentační horolezeckou výpravu.

Přestože v České republice nemáme tak vysoké a strmé svahy, vznikla u nás díky Q. Zárubovi (viz např. Vesmír 73, 158, 1994/3 a 58, 186, 1979/6) světově proslulá škola inženýrské geologie, která se specializuje na stabilitu svahů. Jejím domácím hřištěm jsou hlavně hluboká, kaňonovitá údolí našich řek. Několik slibných přehradních míst na

Vltavě muselo být opuštěno, když průzkum odhalil, že skalní masivy v jejich bocích jsou jen přemístěnými hmotami velkých svahových poruch. Nejznámějším z nich jsou pravděpodobně Orlické Zlakovice (dnes součást obce Zbenice), kde měla původně stát Orlická přehrada. Rozsáhlé podzemní prostory Ledových slují v boku kaňonu Dyje (viz Vesmír 76, 403, 1997/7) jen kousek pod Vranovskou přehradou vznikly pomalými pohyby rulových bloků do údolí a stále se rozšiřují. V kaňonu Labe mezi hraničním přechodem v Hřensku a Děčínem bylo ve vysokých pískovcových skalních stěnách nutno vytvořit rozsáhlé systémy bezpečnostního kontrolního sledování a stav ohrožení tam dosud trvá.

Kdo by pak chtěl spatřit české Machu Picchu, ať se vypraví na Šumavu. Téměř polovina hradeb a část akropole keltského hradiště Obří hrad jižně od Kašperských hor zmizela při velkém skalním řícení do údolí říčky Losenice. Aktivita pohybů v obrovské deformační struktuře však přetrvává dodnes. Již druhým rokem zde archeologové a inženýři geologové vzorně spolupracují při záchranném průzkumu.

stabilním, silně podrceném masivu nedaly postavit.

Japonský názor na ohrožení města svahovými pohyby jsme označili za pesimistický. Podle našeho názoru se zdejší systém hlubokých svahových deformací buď uklidnil, nebo je ve stadiu pomalého ploužení (jeho rychlost by mohla být nanejvýš v řádu desetin milimetru za rok). Vyloučit nelze ani projevy současné neotektonické pohybové aktivity hlavních zlomových zón, procházejících areálem města. (I v tomto případě by ale rychlost pohybů byla v řádu desetin milimetru za rok.) Výjimkou by mohlo být chování zón, kde jsou porušení jak tektonického, tak svahového původu (tam by velikost pohybů mohla narůst o několik řádů).

I dnes mohou být nebezpečné (stavbám, nikoli turistům) mělké svahové pohyby, které aktivují povrchové, jen několik metrů mocné partie svahů. Jejich odlučné oblasti se šíří vzhůru svahem a na několika místech již dosáhly okrajových zdí města. Právě tuto aktivitu (s rychlostí až několik centimetrů za měsíc) patrně zachytila japonská měření. Abychom uvedená tvrzení ověřili, doplnili jsme síť japonského kontrolního sledování na obvodu lokality o nový systém sledování pohybů na trhlinách.

#### Kolik hlav, tolik názorů?

Jestliže chceme objasnit rozpory v interpretaci dat, rozsahu a aktivitě porušení svahů Machu Picchu, je třeba zachytit přírodní geodynamické proce-

2. Viditelné porušení chrámu v levé části snímku není důsledkem současného sesuvu, jak vysvětlují místní průvodci, ale mohlo by mít i jiné příčiny (viz text). Snímek © Vít Vilímek

sy, vyvíjející se v řádu stovek a tisíců let, a zvážit jejich působení s výhledem na několik let dopředu.

Specifické povrchové tvary (podle nichž lze hluboké, dlouhodobě se vyvíjející svahové deformace odhalit očima) vypadají v horských svazích stejně „čerstvě“ po stovky let. Lidské oko naopak není schopno zachytit okamžitou aktivitu plouživých pohybů o rychlosti pouhých milimetrů či jen desetin milimetru za rok. A při velmi přesných měřeních si musíme být jisti, co vlastně měříme (např. zda měříme povrchový sesuv, nebo projev hluboce založeného porušování) a jakou část jeho funkční struktury (jestli klíčový prvek, či periferní partii). Deformace na inckých budovách sice mohou být výsledkem čtyřsetletého působení velmi pomalých svahových pohybů, ale jejich geneze by mohla být i jiná (např. selektivní podzemní odnos horniny nebo současná pohybová aktivita zlomových struktur).

A konečně – velké poruchy svahů se vyvíjejí stovky či tisíce let. Přitom katastroficky rychlá řízení obrovských objemů jsou sice možným, ne však nevyhnutelným závěrem takového vývoje. Jiným, stejně pravděpodobným závěrem je trvalé uklidnění, kdy svah dosáhne nové rovnováhy díky dlouhodobým, velmi pomalým pohybům.

Po diskusích stále nepřilíš uspokojivého stavu poznání situace na Machu Picchu byla letos v lednu ustavena pod záštitou UNESCO a Mezinárodní unie geologických věd nová, mezinárodní a víceoborová skupina pro studium svahových pohybů – Mezinárodní konsorcium pro sesuvy (ICL). Jejím prvním cílem je komplexní studium stability svahů Machu Picchu. S ohledem na význam této lokality je členství ve skupině prestižní záležitostí. □

