Cerro Tamabú (1445 m n. m.) rozvlečeny i na vzdálenost několika kilometrů, až k osadě Zompopera.

Z hlediska přírodních nebezpečí jsou zvlášť nebezpečné příkré svahy se skalním řícením a sesuvy ohrožujícími osady a provoz na komunikacích. V této tektonicky exponované a zemětřesné oblasti představují značné nebezpečí.

Literatura

HRADECKÝ, P. et al. (2006): Geologický výzkum přírodních rizik v okolí města Estelí, centrální Nikaragua. Projekt ZRS. – MS Min. život. prostředí Čes. republ. a Čes. geol. služba, Praha, INETER Managua.

PŘÍVALOVÉ PROUDY V OKOLÍ MACHU PICCHU, CUZCO, PERU

Debris flows in surroundings of Machu Picchu, Cuzco, Peru

JAN KLIMEŠ [1] – VÍT VILÍMEK [2]

[1] *Ústav struktury a mechaniky hornin Akademie věd České republiky, v.v.i., V Holešovičkách 41, 182 09 Praha 8*
[2] *Katedra fyzické geografie a geoekologie, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Albertov 6, 128 43 Praha 2*

Key words: slope movements, debris flows, Machu Picchu, natural hazards

Abstract: Engineering geological and geomorphological research of the potentially dangerous natural processes has been conducted in the Inca city of Machu Picchu and its surrounding since 2001. The research includes monitoring of the slope movements within the archeological site and continuous geomorphologic investigations of the adjacent Urubamba River valley and it slopes (VILÍMEK et al., in print). The research activities at the Machu Picchu are coordinated by the ICL – International Consortium on Landslides, where among others work teams from Japan, Italy, Canada, Peru, Slovakia, and Czech Republic.

Příspěvek byl prezentován na odborném semináři České geologické služby a Ústavu struktury a mechaniky hornin Akademie věd České republiky „Svahové deformace a pseudokras“ 10.–13. 5. 2006 v Ostravici.

Od roku 2001 probíhá v okolí archeologické lokality Machu Picchu inženýrskogeologický a geomorfologický výzkum přírodních procesů. Práce jsou zaměřeny hlavně na procesy, které mohou být nebezpečné pro archeologickou lokalitu zapsanou na seznamu světového kulturního dědictví UNESCO a rozvoj turistiky v jejím okolí. Kromě sledování svahových pohybů v rámci inckého města je soustavně prováděn geomorfologický výzkum širšího okolí (VILÍMEK et al., in print), zaměřený na svahové deformace a jejich možný negativní dopad na ekonomické aktivity v oblasti. Výzkumy na Machu Picchu jsou koordinovány v rámci ICL (International Consortium on Landslides). Postupně byla navázána spolupráce mezi týmy z Japonska, Itálie, Kanady, Peru, Slovenska a Česka.

Vývoj reliéfu v okolí inckého města Machu Picchu je ovlivněn celou řadou procesů a podmínek, sahajících od vzniku granitového plutonu a následných orogenetických fází (hercynské a andské) až po formování kvartérních svahových a říčních sedimentů. Vznikl tak reliéf s velmi strmými svahy a úzkými údolími, jehož vývoj je převážně kontrolován množstvím materiálu vhodného k transportu. Odnos materiálu z povodí se odehrává zejména v období dešťů (prosinec až duben) a probíhá hlavně ve formě plavenin a přívalových proudů (aluviones, huaycos), které je možné rozdělit podle jejich geneze do dvou skupin.

První skupinu tvoří přívalové proudy, které se vyvinuly ze skalních sesuvů vzniklých na strmých svazích díky výraznému rozpukání granitových hornin, nízké pevnosti jejich puklin a velkému množství srážek během období dešťů. Druhá skupina přívalových proudů pak vzniká díky kombinaci tání horských ledovců spojeného s vydatnými dešťovými srážkami, které vedou k pádu bloků ledu do ledovcových jezer anebo k nasycení a destabilizaci morénových sedimentů v závěrech ledovcových údolí. Přívalové proudy způsobené hlavně dešťovými srážkami (první skupina) se vyznačují relativně malými objemy transportovaného materiálu (např. 80 000 m^3), velmi rychlým průběhem a jen těžko odhadnutelnou dobou vzniku. Naopak přívalové proudy vznikající společným působením srážek a tajícího ledu většinou transportují mnohem větší objemy materiálu (např. 28 000 000 m^3) a jejich průběh je rozdělen do několika hodin v podobě následných povodňových vln o různé velikosti (tab. 1). Průměrná doba opakování přívalových proudů (obou typů), zjištěná na základě archivních podkladů o 26 událostech od roku 1946, jsou dva roky. Více než polovina ze všech zaznamenaných přívalových proudů vznikla v období mezi lednem a březnem, pouze jeden přívalový proud vznikl mimo období dešťů (prosinec až duben).

Detailní analýza předchozích srážek (tzv. preceding precipitation index) ukázala nejužší vazbu mezi šestidenními předchozími srážkami a vznikem přívalových proudů. Jedná se pouze o předběžný závěr na základě sedmi podrobně datovaných událostí, pro které jsou také známy denní srážkové úhrny z klimatické stanice Machu Picchu.

Porovnání mapy náchylnosti výplavového kužele k přívalovým proudům, na kterém se nachází obec Machu Picchu (CARLOTTO et al. 2001), se vzniklými škodami vyvolanými přívalovým proudem z 10. 4. 2004 ukázala, že i jednoduchá mapa náchylnosti vytvořená na základě expertní znalosti může velmi přesně (86%) předpovědět nej-

Tabulka 1. Základní charakteristiky vybraných přívalových proudů v okolí Machu Picchu (výsledek terénního výzkumu a údajů v literatuře)

přívalový proud	plocha (m^2)	objem (m^3)	velikostní třída podle JAKOBA (2005)	horizontální vzdálenost mezi zdrojovou oblastí a ústím řeky (km)	vertikální vzdálenost mezi zdrojovou oblastí a ústím řeky (km)	gradient mezi zdrojovou oblastí a ústím řeky (°)	zdokumentovaná doba trvání události
Alcamayo, 10. 4. 2004	6 800	6 000	3	2,1	1	25,4	0,5 hodiny
dejekční kužel Mandor, 8. 1. 2005	37 546	81 000	4	bez dat	bez dat	bez dat	bez dat
vodopád Mandor, 12. 2. 2005	10 576	12 000	4	bez dat	bez dat	bez dat	bez dat
Aobamba, 27. 2. 1998	*720 000	*28 000 000	8	**20	**3	8,5	**cca 14 hodin
Santa Teresa, 13. 1. 1998	bez dat	bez dat	7–8 odhad	**30	**3	6	**9,5 hodiny

* KUROIWA (2002)
** CARLOTTO et al. (1999)

více postižené území v budoucnu. Bohužel místní samospráva nerespektovala závěry odborníků a povolila zástavbu i v nejvíce ohrožených místech což vedlo ke ztrátě jedenácti lidských životů.

Konkrétní území zaplavené přívalovým proudem ze dne 10. 4. 2004 bylo ovlivněno zakřivením řečiště, jeho hloubkou a výškou břehů – k rozlití došlo ve spodní části náplavového kužele, kde ve výrazné zákrutě řečiště byl jesepní břeh o 3 m nižší než výsepní a celková hloubka koryta se oproti horní části kužele snížila o cca 1,5 m. Z tabulky 1 také vyplývá, že v podobných podmínkách (tedy události ze dnů 8. 1. 2005 a 12. 2. 2005) mohou vzniknout přívalové proudy o jeden řád větší, než byla ničivá událost z 10. 4. 2004, tudíž i potenciální postižení obce Machu Picchu může být ještě větší. Je proto nutné respektovat existující mapu náchylnosti výplavového kužele k přívalovým proudům (CARLOTTO et al. 2001) a nepovolovat zástavbu v nejvíce ohrožených částech obce a zároveň provést ekonomicky realizovatelná technická opatření k zabránění rozlití a akumulaci materiálu přívalového proudu na zastavěných plochách.

Vzhledem k současnému stupni vývoje reliéfu v okolí Machu Picchu je zřejmé, že ke vzniku nebezpečných svahových procesů jakými jsou přívalové proudy a sesuvy bude docházet i v budoucnu a je tedy nutné jim přizpůsobit veškeré ekonomické aktivity v okolí Machu Picchu.

Literatura

CARLOTTO, V. – CÁRDENAS, J. – ROMERO, D. – VALDIVIA, W. – TINTAYA, D. (1999) Geología de los cuadrángulos de Quillabamba y machupicchu. – Boletín No. 127, Serie A Carta Geológica Nacional, INGEMET, Lima.

CARLOTTO, V. – GALDOS, B. – SOLÍS, M. – ARIAS, V. – MACHICAO, O. – MAR, P. (2001): Plan para la mitigacion de desastres del poblado de Machu Picchu – Aguas Calientes. – PROFONAPE-Programa Machu Picchu, Cuzco, Peru.

JAKOB, M. (2005): A size classification for debris flows. – Eng. Geol., 79, 3–4, 151–161.

KUROIWA, J. (2002): Reducción de desastress – Viviendo en armonía con naturaleza. – Quebecor World Perú S.A., Lima, p. 429.

VILÍMEK, V. – ZVELEBIL, J. – KLIMEŠ, J. – PATZELT, Z. – ASTETE, F. – KACHLÍK, V. – HARTVICH, F. (in print): Geomorphological research of large-scale slope instability at Machu Picchu, Peru. – Geomorphology.