

JAN KLIMEŠ

ANALÝZA FAKTORŮ PODMIŇUJÍCÍCH VZNIK SESUVŮ NA OKRESE VSETÍN

J. Klimeš: *Analysis of the Causative Factors of Landslides Triggered by the Extreme Rainfalls in 1997, Vsetín District, Czech Republic.* – Geografie – Sborník ČGS, 107, 1, pp. 40–49 (2002) – The main objective of this study is to determine and analyse the terrain conditions which contributed to the evolution of landslides after the 1997 rain event and to perform the slope instability hazard zonation mapping of the Soláň Brook sample drainage basin. The GIS means are used for compilation of the slope instability hazard zonation map.
KEY WORDS: landslides – causative factors – Vsetín District, Czechia.

Vypracování této studie bylo podpořeno grantovou agenturou Univerzity Karlovy, číslo grantu 224/2001. Za projevenou důvěru této grantové agentuře děkuji.

1. Úvod

Práce se zabývá svahovými poruchami vyvolanými extrémními srážkami mezi 4. a 8. 7. 1997, které postihly východní část České republiky a způsobily katastrofální povodně (viz kapitola 3). Pro detailní studium sesuvů byl vybrán okres Vsetín, který byl nejvíce postižen svahovými pohyby (Kirchner, Krejčí 1997b, 1998) a to především díky příhodným geologickým podmínkám, které umožňují rychlé nasycení horninového prostředí vodou, což vychýlí stabilitní poměry svahů natolik, že může dojít až k lavinovitému vzniku převážně mělkých a plošně omezených sesuvů, jak k tomu došlo v červenci 1997 (Rybář, Stemberk 2000).

Bezprostřední dokumentace a mapování nově vzniklých sesuvů a způsobených škod bylo úkolem pracovníků Českého geologického ústavu (ČGU) Brno. Hlavní pozornost při mapování a realizaci sanačních opatření byla věnována plošně rozsáhlým a nebezpečným pohybům, které přímo ohrožovaly budovy a komunikace. Na tyto aktivity navázal projekt „Svahové deformace v ČR“, který je financován MŽP Praha a řešen mnoha státními i soukromými institucemi. Projekt je zaměřen na systematické mapování svahových deformací v nejvíce postižených oblastech okresu Vsetín, s cílem tvorby inženýrsko – geologických map stabilitních poměrů území a z nich odvozených prognostických map náchylnosti řešeného území k porušení stability svahů (Rybář 1999b).

2. Metody zpracování

K identifikaci podmínek prostředí, které mohou ovlivnit vznik sesuvů a k rajonizaci území podle náchylnosti ke svahovým pohybům, byly provedeny následující kroky, jak je popsal C. J. van Westen (1997).

2. 1. Evidence a mapování vzniklých sesuvů

Pro účely této studie byla použita evidence sesuvů v práci K. Kirchner, O. Krejčí (1997b,1998), kde byly podrobně popsány největší a nejnebezpečnější svahové deformace okresu Vsetín vzniklé v důsledku povodní 1997. Součástí této práce byly také mapy v měřítcích 1:10 000 a 1:25 000, kde byly tyto sesuvy vyznačeny.

Přímé terénní mapování proběhlo v povodí Solaneckého potoka. Jeho výsledkem byla mapa svahových deformací v měřítku 1:10 000, která zobrazovala 55 sesuvů. Popisné informace k jednotlivým deformacím byly zapsány do evidenčních karet.

2. 2. Mapování podmínek prostředí souvisejících se vznikem sesuvů

Byly získány informace o podmínkách prostředí každého ze 195 studovaných sesuvů. K tomu bylo využito topografických map 1:10 000, geologických map 1:25 000 a studie K. Kirchner, O. Krejčí (1997b,1998). Na základě studia literatury byly vybrány následující podmínky prostředí, jako relevantní pro vznik svahových deformací: sklon, orientace a tvar svahů, geologické a hydrologické podmínky, vybrané tvary reliéfu, silniční síť, využití půdy, nadmořská výška sesuvů a existence starých svahových deformací.

V případě zpracovávané oblasti povodí Solaneckého potoka byly vytvořeny digitální vrstvy vybraných studovaných podmínek prostředí, které byly později použity pro tvorbu digitální mapy náchylnosti povodí k porušení stability svahů.

2. 3. Statistická analýza podmínek prostředí

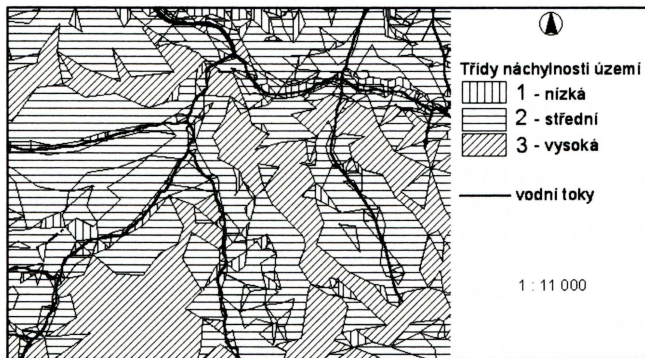
Při analýze výše zmíněných podmínek prostředí byl použit koeficient vhodnosti (významnosti), který udává jaký podíl z celkové délky všech studovaných sesuvů prochází územím s určitou vlastností (např. sklonem, geologickou jednotkou atd.). Koeficient vhodnosti byl definován jako relativní vážené četnosti sesuvů v jednotlivých třídách podmínek (např. solánské souvrství) nebo jednotlivých intervalech určitého faktoru (sklonitostní třída, nadmořská výška, atd.). Jako váhy bylo použito největšího rozměru sesuvu. Pro každou třídu byl koeficient vhodnosti vyjádřen procentuálně. Podmínky s nejvyšším koeficientem mohou odrážet nejvhodnější vlastnosti reliéfu pro vznik svahových pohybů při extrémních srážkách podobných těm, z července 1997. Identifikace úlohy jednotlivých studovaných podmínek pro vznik sesuvů je nicméně při použití koeficientu vhodnosti problematická, neboť jeho hodnota nedokáže odlišit podmínky, které ovlivňují vznik sesuvů a které jsou pouze značně rozšířené na studovaném území, ale nemají žádnou přímou souvislost s genézí svahových poruch.

2. 4. Přiřazení vah třídám studovaných podmínek a tvorba mapy náchylnosti k porušení stability svahů

Jednotlivé podmínky prostředí byly rozděleny do tří tříd náchylnosti ke vzniku svahových deformací: nízká, střední a vysoká. Těmto třídám byly přiřazeny váhy 0, 1, 2 (tab. 1). Rozdělení do výše zmíněných tříd proběhlo na základě hodnot koeficientu vhodnosti. Takto upravené digitální vrstvy zpracovávané oblas-

Tab. 1 – Váhy studovaných podmínek použitých pro digitální model náchylnosti povodí Solaneckého potoka k porušení stability svahů (J. Klimeš)

Faktory	Váhy tříd dílčích faktorů		
	0 – nízké	1 – střední	2 – vysoké
Litologie	spodní pestré vrstvy, fluviaální sedimenty	ráztocké vrstvy	belovežské souvrství
Sklon	0° – 5°, 31° – 80°	5° – 10°	10° – 30°



Obr. 1 – Výřez mapy náchylnosti povodí Solaneckého potoka k porušení stability svahů (J. Klimeš)

ti byly použity pro sestavení mapy náchylnosti území k porušení stability svahů (obr. 1).

3. Charakteristika extrémních srážkových úhrnů v červenci 1997

V červenci 1997 byla východní část České republiky postižena katastrofálními záplavami,

mi, které způsobily mnoha milionové škody a vyžádaly si i oběti na lidských životech. Tlaková níže velmi pomalu postupující přes území České republiky k severovýchodu se díky zadržující tlakové výši na východě téměř zastavila zprvu nad územím Moravy a Slezska a ve dnech 7. a 8. července se její centrum postupně přesunulo nad jižní Polsko (Pavelka, Trezner, v tisku). V týlu tlakové níže proudil nad zmíněné území teplý a vlhký vzduch, způsobující intenzivní srážky mezi 4. až 8. červencem 1997. Největší denní úhrny srážek na území okresu Vsetín byly naměřeny 6. července (např. Rožnov pod Radhoštěm 148 mm, Val. Meziříčí 159 mm) (Kirchner, Krejčí 1997a). Úhrn srážek se lišil významně podle polohy srážkoměrné stanice. Celkový úhrn srážek naměřený na stanici v Rožnově pod Radhoštěm činil ve zmíněném období 401,1 mm, v 5 km vzdálené Stríteži nad Bečvou bylo za tentýž časový interval naměřeno 194,7 mm (Pavelka, Trezner, v tisku). Na základě srovnání pozorování z 11 srážkoměrných stanic lze konstatovat, že množství srážek na okrese Vsetín v daném časovém rozmezí vzrůstalo směrem k severu a severovýchodu.

Vypočítaná korelace mezi nadmořskou výškou srážkoměrných stanic (celkem bylo použito 11 stanic) a celkovým množstvím srážek za období 4. – 8. 7. 1997 nedokazuje závislost mezi těmito veličinami.

4. Analýza podmínek podmiňujících vznik sesuvů na okrese Vsetín

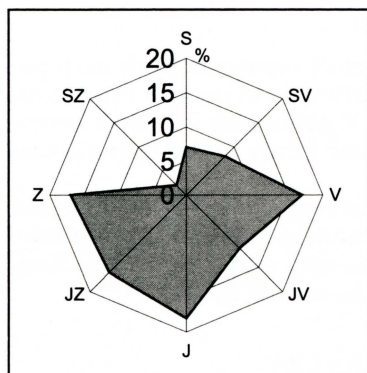
4.1. Hydrologické poměry

Hydrologické poměry jsou velmi důležitým faktorem ovlivňujícím vznik sesuvů (Kirchner, Krejčí 1997b, 1998, Rybář 1999a). Vzhledem k dostupným údajům byly vytvořeny kategorie: tok, pramen, mokřina a nezjištěno.

Třída „tok“ obsahuje sesuvy na jejichž vzniku se podílela boční eroze vodního toku. Do kategorie „pramen“ a „mokřina“ byly zařazeny sesuvy, které vznikly v místě výtoku podzemní vody nebo na silně zamokřeném území. Do třídy „nezjištěno“ byly zahrnuty sesuvy, u kterých nebyly v práci K. Kirchner, O. Krejčí 1997b, 1998, v topografických mapách a ani podrobným terénním průzkumem, zjištěny žádné významné hydrologické prvky.

Nejvýznamnějším hydrologickým faktorem pro vznik sesuvů je boční eroze vodních toků, která ovlivnila 40 % sesuvných území. Nízký procentuální podíl pramenů (8 %) a mokřin (5 %) nemění nic na jejich významnosti při studiu oběhu podzemní vody na konkrétních lokalitách. Stejně jako velký podíl sesuvů bez zjištěných hydrologických prvků (47 %) je i jejich malý zjištěný význam důsledkem příliš malého měřítka studia daných jevů.

4.2. Orientace sesuvů vůči světovým stranám



Obr. 2 – Hodnoty postižení svahů sesuvy v závislosti na orientaci svahů vůči světovým stranám na okrese Vsetín (J. Klimeš)

což podle M. J. Croziera 1986 vede k větší náchylnosti takovýchto svahů ke vzniku sesuvů.

Význam orientace svahů pro vznik sesuvů dále zmenšuje i zjištění, že neexistuje relevantní korelace mezi převládajícími směry větrů na okrese Vsetín (tak jak byly naměřeny ve Vsetíně a Rožnově pod Radhoštěm za období 1980 – 1999, nebo během povodňových událostí 4. – 8. 7. 1997) a zjištěným postižením různě orientovaných svahů.

4.3. Vliv reliéfu

Jako významné byly vybrány a sledovány následující geomorfologické tvary: strže, přírodní a umělé terénní stupně. Samostatně byly též studovány komunikace bez rozlišení typu povrchu.

Z provedené analýzy je patrné, že největší význam z uváděných charakteristik má přítomnost cest jejichž význam je charakterizován 78 %. K takto velkému číslu přispěla značná hustota lesních a polních cest, které byly budovány díky charakteristickému rozptýlenému valašskému typu osídlení vysoko nad údolními často i v místech s výrazným sklonem svahů. Dalším významným tvarem v této skupině jsou umělé terénní stupně, které se vyskytovaly

u 40,8 % sesuvů. Přírodní terénní stupně mají hodnotu 6 %. Nejnižší procentuální hodnoty mají strže (5 %), které přispívají ke vzniku především zemních a přívalových proudů.

4. 4. V y u ž í t í p ů d y

Na základě dostupných zdrojů byly sledovány dvě kategorie využití půdy: les (54 %) a jiné využití (46 %) a to s ohledem na nedostupnost dostatečně přesných a aktuálních dat. Vysoký koeficient zalesněných ploch spíše vypovídá o plošnému rozšíření zalesněných oblastí v okrese, který je z 54 % rozlohy porostlý lesy (Pavelka, Trezner, v tisku), než o větší vhodnosti lesních ploch pro vznik sesuvů. Přesto může být význam lesa pro stabilitní poměry konkrétního svahu za určitých podmínek, kdy srážky jsou natolik vydatné, že intercepce ani evapotranspirace nedokáží zabránit saturaci půdy vodou, záporný.

4. 5. T v a r s v a h u

Při posuzování jednotlivých sesuvů byl za pomoci topografických map posuzován jejich příčný profil podle kterého byly určeny převládající tvary svahu jako konkávní (cc), konvexní (cx) a rovný (r). V případech kdy byla sesuvná území příliš rozsáhlá a střídaly se na nich různé formy svahu byly zařazeny do třídy označené jako ostatní.

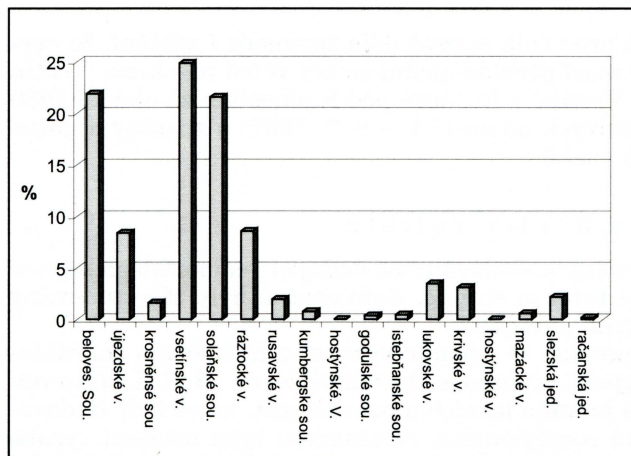
Nejvýznamnější pro vznik sesuvů jsou konkávní tvar svahů (47 %), kde jsou jednak nejvýhodnější podmínky pro ukládání svahovin a jednak to jsou místa vhodná pro akumulaci vody. Další dva typy za ním silně zaostávají. Konvexní svahy získaly 19 %, rovné svahy 7 % a třída ostatní 27 %.

4. 6. G e o l o g i c k é j e d n o t k y

Pro vývoj a prostorovou predikci sesuvů je důležité rozmístění, vlastnosti a mocnost svahových sedimentů neboť všechny studované sesuvy byly založeny ve vzětralinovém plášti (Kirchner, Krejčí 1997b, 1998). Z toho vyplývá, že velmi důležitou charakteristikou hornin pro jejich klasifikaci vzhledem k

náchylnosti na vznik sesuvů je jejich odolnost vůči zvětrávání.

Z obrázku 3 je zřejmé, že nejrozšířenější geologickou jednotkou horninového podloží studovaných sesuvů jsou vsetínské vrstvy (25 %). Obdobných hodnot 22 % dosáhly solánské a belo-vežské souvrství. Méně významné pro rozvoj svahových pohybů se jeví újezdské (8 %) a ráztocké (9 %). Ostatní zastoupené geologické jednotky nepřesáhly hodnotu 3 % a většina z nich



Obr. 3 – Hodnoty koeficientu vhodnosti geologických jednotek pro okres Vsetín (J. Klimeš)

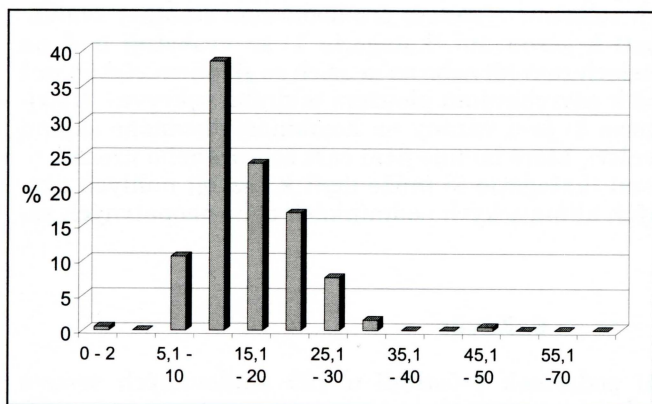
nedosáhla ani 1 %. Podrobná charakteristika jednotlivých geologických jednotek je uvedena v práci V. Pesla (1989).

4. 7. N a d m o ř s k á v ý š k a

V rámci této studie byly zjišťovány absolutní nadmořské výšky nejvyššího bodu odlučné hrany sesuvů odečítáním vrstevnic ze Základních topografických map (1:10 000). Výsledky ukázaly, že maximální nadmořská výška zkoumaných sesuvů je 855 m, přestože maximální nadmořská výška v okrese Vsetín dosahuje 1 206 m.

Z analýzy digitálních dat Arc ČR (firmy Arc Data ČR) bylo zjištěno, že výškový pás 201 – 400 m n. m zaujímá 20,5 % plochy okresu. Stejnému rozpětí nadmořských výšek odpovídá koeficient vhodnosti 38,2 %. Polovina (50,6 %) ze studovaných sesuvů se nachází v nadmořské výšce 401 – 600 m n. m, která z celkové plochy okresu zabírá 47,8 %. Ve výškovém pásu 601 – 1 000 m n. m byl zjištěn výrazný pokles postižení sesuvy (pouze 10,6 %), zatímco jeho plocha poklesla vůči předešlému pásu o pouhých 16,4 na 31,4 %. Výškový pás 1 001 – 1 500 m n. m je na okrese zastoupen pouze nepatrně (0,3 %) a podle mých zjištění v něm nedošlo ve sledovaném období k rozvoji svahových pohybů.

4. 8. S k o n s v a h ů



Obr. 4 – Hodnoty koeficientu vhodnosti průměrného sklonu sesuvů v okrese Vsetín (sklon je uváděn ve stupních, J. Klimeš)

úměrná jejich sklonu, od určitého intervalu s rostoucím sklonem klesá. Na studovaných sesuvech výrazně převládají svahy s průměrným sklonem mezi 10 – 15° (46 %). Svahy se sklonem do 5° jsou zcela bez sesuvů, podobně jako svahy se sklonem větším než 30°, kam zasahují pouhá 2 % sesuvů. Tyto výsledky se shodují se zjištěním M. J. Croziera (1986), který uvádí existenci horních a dolních limitujících hodnot sklonu svahu. Tuto skutečnost vysvětluje tím, že pod dolním limitem sklonu svahů je nedostatečné smykové napětí, které by vedlo ke vzniku sesuvů. Sklony nad horním limitem sklonu svahů zase neumožňují vznik dostatečně mocné pokrývky svahových sedimentů, která by umožnila rozvoj sesouvání (Crozier 1986). Což ovšem v těchto oblastech nevylučuje vznik jiných typů svahových pochodů.

Pro každé sesuvné území byly zjištěny v topografické mapě 1:10 000 horizontální rozestupy pro všechny vrstevnice zasahující na sesuvné území v profilu, který nejlépe vystihoval sklonitostní podmínky sesuvného území. Tyto hodnoty byly použity pro výpočet průměrného sklonu území (obr. 4).

Graf průměrných sklonů svahů ukazuje, že náchylnost svahů k sesouvání není přímo

Zkušenosti J. Rybáře (1999a) ukazují, že 90 % vzniklých sesuvů se vyvinulo v místě, kde již v minulosti došlo ke svahovým pohybům. U 75 % sledovaných sesuvů na okrese Vsetín se O. Krejčí, K. Kirchner 1997b, 1998 zmiňují o starších svahových pohybech. Tato disproporce mezi odborným odhadem a zjištěnou hodnotou může být vysvětlena výraznou extrémností srážek vedoucích ke vzniku studovaných sesuvů. Dalším možným faktorem je nedostačující prozkoumanost studovaných sesuvů na okrese Vsetín. Z praxe je známo mnoho případů, kdy k odhalení starších pohybů vedlo teprve použití geofyzikálních metod průzkumu. V povodí Solaneckého potoka se jednalo např. o sesuv Hutisko – Solanec, na silnici č. II/481 do Velkých Karlovic (Březina, Flimmel 1997) a sesuv Hutisko – Solanec, Zákopčí – les (Ryšávková a kol. 1997).

5. Hodnocení povodí Solaneckého potoka vzhledem k náchylnosti na vznik sesuvů

Pro předání informací získaných analýzou sesuvů okresu Vsetín byla sestavena prognostická mapa náchylnosti povodí Solaneckého potoka k porušení stability svahů (obr. 2). Tato mapa byla sestavena pomocí jednoduchého modelu v prostředí GIS tak jak je popsán v kapitole 2. 4. a doplněna vrstvou vodních toků vzhledem k jejich velkému významu pro hodnocení stability svahů.

Nejméně náchylné oblasti k sesouvání (kategorie 1) se vyskytují buď na dnech údolí, na plochých částech rozvodí nebo na svazích se sklonem větším než 30° (ty mohou být náchylné k povrchovému ploužení půdního pokryvu). Nejvíce náchylné oblasti (kategorie 3) jsou vázány na kombinaci vhodného sklonu svahu a belovežského souvrství, které buduje jižní část zobrazeného území.

V ostatních částech území (kategorie 2) může dojít k rozvoji náhlých svahových pochodů při vhodných klimatických podmínkách nebo neopatrných zásazích lidské činnosti.

6. Závěr

Statistické vyhodnocení podmínek prostředí u 195 studovaných sesuvů umožnilo odlišit ty podmínky, které jsou úzce spojeny se vznikem svahových deformací a ty, jejichž význam pro vznik sesuvů je problematický. Mezi podmínky prostředí, které mají význam pro vznik svahových deformací patří: sklon a tvar svahů, geologické podmínky, boční eroze vodních toků a přítomnost starších svahových deformací.

Podkopávání svahů boční erozí vodních toků působí také jako spouštěvý mechanismus pro vznik převážně mělkých, plošně omezených sesuvů, které postihují břehy vodních toků nebo bezprostředně přiléhající části údolních svahů. Podkopávání údolních svahů však může přispět též k rozvoji rozsáhlých, hluboce založených deformací (Crozier 1986).

Geologické jednotky budující studované území jsou pro vznik svahových deformací určující jednak svými vlastnostmi ovlivňujícími proces zvětrávání (Crozier 1986) a jednak lokálními strukturálními podmínkami (Rybář 1999a). Proces zvětrávání postupně mění vlastnosti zvětralinového pláště což podle M. J. Croziera 1986 vede postupně ke změnám úhlu vnitřního tření a hydro-

logických vlastností materiálu, které ovlivňují stabilitní poměry na svahu v závislosti na jeho sklonu. Tyto pochody spolu s tvarem a sklonem terénu ovlivňují hloubku svahových sedimentů, jejíž význam pro vznik sesuvů byl popsán v kapitole 4. 8. Zvětralinový plášť také funguje jako významný kolektor srážkové vody. Lokální strukturní podmínky představují především střídání vrstev plastických a rigidních hornin, poměr jejich sklonu a směru vůči sklonu svahů a tektonickému porušení hornin. Tyto podmínky v mnoha případech určily vznik a průběh konkrétních deformací (Rybář 1999b).

Tvar svahu ovlivňuje především odtok povrchových i podzemních vod a tím výrazně přispívá k prostorové diferenciaci nasycení horninového prostředí vodou. Právě variace v nasycení horninového prostředí vodou určují do značné míry prostorové rozmístění některých typů sesuvů (Crozier 1986). Tvar svahu je také ovlivňován existencí starých svahových deformací, které mohou vytvářet konvexní i konkávní formy svahu a vytvářet tak místa s výrazně oslabenými stabilitními poměry. V současné době proces vzniku konkávních sníženin probíhá v podobě „hojení“ u mnoha deformací vzniklých na okrese Vsetín v létě 1997. Typický je příklad zemního proudu Malá Brodská u Nového Hroznkova, kde materiál z horních částí odlučných stěn postupně zasypává klínovitý příkop vzniklý přemístěním zeminy po svahu na vzdálenost až 690 m (Rybář 1999a).

Z vytvořené digitální mapy náchylnosti povodí Solaneckého potoka k porušení stability svahů vyplývá, že použité digitální podklady neobsahovaly podstatné faktory vedoucí ke vzniku náchylnosti území k sesouvání v dostatečně podrobném měřítku. Je to způsobeno jednak nedokonalým využitím existujících digitálních dat (technologie GIS např. umožňuje vytvoření mapy zakřivení terénu, která vystihuje tvar svahů jenž je podstatným faktorem pro vznik náchylnosti svahů) a také absencí dostatečně podrobných digitálních dat popisujících faktory důležité pro stabilitní poměry svahů. Sem patří např. podrobný digitální model terénu, geologické mapy zachycující hloubku a vlastnosti zvětralinového pláště nebo detailní strukturní poměry horninového prostředí. Takováto data lze získat téměř výhradně detailním terénním mapováním. Navíc existuje nebezpečí, že skutečně určující faktory vedoucí ke vzniku svahových deformací nebo jejich určitá kombinace nebyla dosud zjištěna.

Literatura:

- BŘEZINA, S., FLIMMEL, I. (1997): Hutisko – Soláň – Velké Karlovice, sesuvy na silnici II/481, sesuv č. 1. GeoIng, Jihlava, s. 12.
- CROZIER, M., J. (1986): Landslides causes, consequences and environment. Croom Helm, London. s. 325
- Geologická mapa ČR, list 25-23 Rožnov pod Radhoštěm, 1:50 000, ČGÚ, Praha, 1982.
- KIRCHNER, K., KREJČÍ, O. (1997a): Svahové pohyby na Vsetínsku. Veronica, 9, č. 3, ČSOP, Brno, s. 19-20.
- KIRCHNER, K., KREJČÍ, O. (1997b): Předběžná zpráva o studiu sesuvů aktivovaných během extrémní srážkové činnosti v červenci 1997 na okrese Vsetín. ČGÚ – Ústav geoniky AV ČR, Brno, s. 105.
- KIRCHNER, K., KREJČÍ, O. (1998): Předběžná zpráva o studiu sesuvů aktivovaných během extrémní srážkové činnosti v červenci 1997 na okrese Vsetín. ČGÚ – Ústav geoniky AV ČR, Brno, s. 27.
- OBDRŽÁLKOVÁ, J. (1992): Landslides in the Hostýnské vrchy Mountains (Moravia). Acta Universitatis Palackianae Olomouensis, Fac. Rer. Natur., Geographica – Geologica, XX-XI, č. 109, VUP, Olomouc, s. 77-84.

- ONDRÁŠIK, R., RYBÁŘ, J. (1991): Dynamická inženýrská geologie. SPN, Bratislava. s. 267
- PESL, V. (1989): Vysvětlivky k základní geologické mapě 1:25 000, 25-234 Horní Bečva. MS ÚÚG, Praha, pob. Brno s. 58.
- PESL, V. (1989): Základní geologická mapa 1:25 000, 25-234 Horní Bečva. MS ÚÚG, Praha, pob. Brno.
- ROZSYPAL, A. (1999): Řízení rizik sesuvů. Geotechnika, 1999, č. 2, Čeněk a Ježek, Praha, s. 26-29.
- RYBÁŘ, J. (1999a): Rozbor příčin zvýšeného výskytu svahových deformací v České republice v červenci 1997. Geotechnika, 1999, č. 2, Čeněk a Ježek, Praha, s. 7-14.
- RYBÁŘ, J., eds. (1999b): Hodnocení rizik nestability svahů v oblasti Valašského Meziříčí – Mikulůvka – Jablůnka – Malá Bystrice v Okrese Vsetín. Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, Praha, s. 100.
- RYBÁŘ, J., STEMBERK, J. (2000): Avalanche-like occurrences of slope deformations in the Czech Republic and coping with their consequences. Landslides News, 13, Kyoto, s. 28-33.
- RYŠÁVKA, J. a kol. (1997): Vsetínsko – sesuvy. Závěrečná zpráva o provedení geotechnického průzkumu sesuvu v lokalitě Hutisko – Solanec – les. Unigeo a. s., Ostrava, s. 20
- VAN WESTEN, C. J. a kol. (1997): Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS – based hazard zonation. Geologische Rundschau, 84, s. 404-414.
- Záruba, Q. (1923): Studie o sesuvných terénech na Vsatsku a Valašsku. Čas. Morav. mus. zem., č. 20-21, Brno, s. 170-180.

S u m m a r y

ANALYSIS OF THE CAUSATIVE FACTORS OF LANDSLIDES TRIGGERED BY THE EXTREME RAINFALLS IN 1997, VSETÍN DISTRICT, CZECH REPUBLIC

The Vsetín district occupies a part of the Outer Western Carpathians, which are built by flysch rocks. Due to their lithological, hydrogeological and structural properties, those rocks are susceptible to slope movements. In the July 1997, extreme rainfalls affected the whole eastern part of the Czech Republic, including the Vsetín District. This event caused enormous floods and triggered numerous slope failures in the sliding susceptible areas.

The main objective of this study was to determine and analyse the terrain conditions which contributed to the landslides evolution in July 1997 and to perform the slope instability hazard zonation mapping on the Solán Brook sample drainage basin. Statistical analyses revealed that the most important of the studied terrain conditions are: slope, lithology, occurrence of old slope failures within the new landslides and slope curvature. A set of 195 landslides recorded by the Czech Geological Survey was used for the analyses. The impact of stream incisions was also noted.

The lithology influences the slope susceptibility through rock and/or colluvium properties and geological structures. The current research reveals that the colluvium (its depth and properties) is one of the most important factors for the slope susceptibility development in the Vsetín district. The occurrence of the most of the studied landslides was explained by a variation in the extent of the colluvium saturation by precipitations (Kirchner, Krejčí 1997). However, other more passive factors (e. g. colluvium depth and hydrological properties) are needed to explain the long-term development of the slope susceptibility to landslides (Crozier 1986).

Local geological structures control the position, the shape and the form of many landslides (Rybář 1999a). Major geological structures include the relation between the dip of the bedding planes and the slope angle, tectonic failures and the alternation of permeable rigid rocks (sandstone) with almost impermeable plastic layers (claystone, siltstone). The slope angle influences the colluvium depth and hydrogeological conditions of slopes, thus it is a very important factor for the evolution of landslides. The presence of old slope failures causes important areas of a weakened slope stability due to the presence of old sliding planes. Also the concave terrain presence often creates favourable conditions for the subsurface layer saturation. Other studied terrain conditions showed no clear relationship between them and the landslides occurrence. They include: land use, slope aspect and the altitude of the studied landslides.

Lithology and slope angle digital layers were used to draw the slope instability hazard zonation map of the Solán Brook drainage basin (Fig. 5). However, the digital layers of the important factors for the slope susceptibility are missing in this model. It is because of the

insufficient resolution of the employed data and because of the absence of digital data describing such factors (e.g. colluvium depth and properties, geological structures significant for landslide development).

Fig. 1 – A selected part of the slope instability hazard zonation map of the Soláň Brook drainage (inclination is given in degrees).

Fig. 2 – Susceptibility indexes of different aspects of the slopes in the Vsetín District.

Fig. 3 – Susceptibility indexes of geological units in the Vsetín District – Levels of slopes susceptibility to slides in dependence to the slope orientation in the Vsetín District (J. Klimeš).

Fig. 4 – Susceptibility indexes of an average landslide slope in the Vsetín District.

(Pracoviště autora: autor je postgraduálním studentem katedry fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty UK, Albertov 6, 128 43 Praha 2.)

Do redakce došlo 24. 10. 2001