

Výstraha před nebezpečím sesouvání na svazích

Kolejka, J., Rapant, P., Batelková, K., Kirchner, K.: Landslide Risk Warning. *Životné prostredie*, 2016, 50, 3, p. 136 – 140.

Landslide risk mapping with GIS technology was developed by scientists co-operating at the Ostrava Czech Academy of Sciences Institute of Geonics and the Czech Technical University of Ostrava. This procedure applies standard data from public databases in a raster format; and subsequent vector data is accessible only to disaster management staff. The risk assessment analyses the following landscape features; geology, land use, aspect, slope, soil humidity, drainage networks and registered landslides. These are assessed on a 0–3 scale and their summation provides the area's final landslide risk-level. The mapping output final resolution is in decimetre units. Risk areas are determined in 100 m wide buffer zones along constructed objects and technical infrastructure; and the maximum landslide risk map data overlain with topic radar data on previous and current precipitation highlights the endangered areas. Combination of the risk map and cadastral maps selects endangered administrative units, and their final resolution enables local administration to closely monitor risk areas, prevent human casualties and reduce material damage.

Key words: landslide, risk assessment, GIS, landslide warning

Přírodní jevy obvykle nepodléhající vlivu člověka a projevující se ohromnou ničivou silou se nazývají přírodními hazardy (Bryant, 1991) nebo živelnými pohromami (Aleksejev, 1988). Svahové pohyby patří mezi přírodní geologicko-geomorfologické hazardy (Mazur, Ivanov, 2004) a působí ztráty na lidských životech, materiální škody, vyřazují infrastrukturu krajiny. Je zapotřebí uvést, že v současnosti je zaváděn termín geohazardy, který zahrnuje živelné pohromy, které jsou spojené s procesy probíhajícími v horninovém prostředí zemského tělesa. V rámci těchto geohazardů jsou rovněž uváděny i svahové pohyby.

Zatímco z území České republiky (ČR) je známo množství případů škod na majetku způsobených sesuvy, lidské oběti jsou poměrně sporadické. Vzhledem k charakteru území ČR významnou roli hraje členitost reliéfu s intenzivním modelačním účinkem pochodu na svazích. V geomorfologii jsou svahové pochody rozlišovány geneticky podle působícího média, např. gravitační svahové procesy (ploužení, sesouvání, říčení), fluviaální svahové procesy, svahové procesy spojené s účinky podpovrchových vod, kryogenní svahové procesy (např. laviny), biologické svahové procesy apod. (podrobněji Demek, 1987).

Sesouvání (Nemčok, 1982) je relativně rychlý krátkodobý klouzavý pohyb horninových hmot svahu podél jedné nebo více smykových ploch. Výslednou formou sesuvného pohybu je sesuv. Sesuvy představují jeden z hlavních procesů degradujících krajinu. Potenciál (náchylnost území) pro vznik sesuvů je podmíněn především: složením a uložením hornin, morfometrií, využitím krajiny a aktuálními změnami využití krajiny (Mícu et al, 2010). Nutno však také zohlednit půdy hydrologických skupin a říční síť. Potenciál je pak aktivován jarními dešti dopadajícími na sněhovou pokrývku nebo

letními intenzivními srážkami, případně otřesy země. V nedávném období byla rozpracována řada scénářů pro předpověď výskytu sesuvů (Chung, Fabri, 1999; Zezere et al., 2004). Vesměs vycházejí ze souvislostí mezi stávajícími sesuvy a předpokládanými faktory jejich akcelerace.

V novodobé historii ČR je hromadný výskyt sesuvů spojen s extrémními srážkami. Stále jsou v paměti extrémní srážky a následné povodňové události z roku 1997, kdy došlo rovněž k masivní aktivaci a pohybu množství sesuvů. Celkové škody z evidovaných sesuvů (700 lokalit) přesáhly 1 miliardu korun. Následně v období 1997 – 2007 bylo dokumentováno různými specialisty a institucemi a zařazeno do registru České geologické služby (ČGS) v postižených oblastech 9 100 svahových deformací. Vláda ČR vynaložila za uvedené období ze státního rozpočtu cca 2,1 miliardy korun na průzkum a nápravná opatření, kromě toho si odstranění škod a opravy na silnicích a železnicích vyžádaly dalších 2,7 miliardy korun. V podmínkách ČR byla ČGS vypracována metodika hodnocení území podle náchylnosti k sesouvání – GIS analýza náchylnosti svahů ke svahovým pohybům (Kycl, ed., 2011, Krejčí, ed., 2011). Výsledná mapa hodnoceného území je pak zobrazením náchylnosti svahů k sesouvání, nikoli zobrazením celkového ohrožení tímto přírodním fenoménem, neboť nezohledňuje spouštěče sesouvání, tedy příčinné srážky, otřesy, případně antropogenní zásahy, které vedou k mobilizaci hmoty na svahu.

Nadále je však vhodné predikovat či vymezit oblasti, kde v případě příhodné srážkové situace dojde k aktivaci starých či vzniku nových sesuvů, zvláště pak oblasti, kde mohou sesuvy ohrozit infrastrukturu a její fungování v krajině či lidské životy. Důležité je tedy včasné varování pro ohroženou oblast. Cílem tohoto příspěv-

Tab. 1. Seznam vstupních dat nezbytných k hodnocení území z hlediska rizika sesouvání

Pořadové číslo	Oblast	Název geodat	Správce
1	geomorfologie	Digitální model reliéfu 4. generace	Český úřad zeměměřický a katastrální
2	geologie	Geologická mapa ČR 1 : 50 000	Česká geologická služba
3	geologie	Registr svahových nestabilit	Česká geologická služba
4	pedologie	Trvale a sezónně zamokřené půdy	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i.
5	využití ploch	ZABAGED – les, louka, zástavba, infrastruktura	Český úřad zeměměřický a katastrální

ku je demonstrovat postup hodnocení sesuvného rizika až po vydání včasného varování starostům potenciálně ohrožených oblastí. Takový postup se nutně rozpadá do přípravné hodnotící fáze, po které následuje operativní fáze po splnění aktivizujících podmínek.

Datové zdroje a jejich hodnocení z hlediska rizika sesouvání území

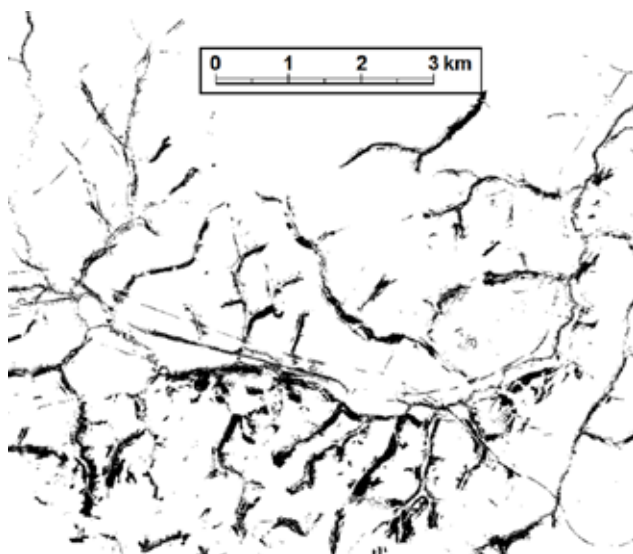
Data dostupná z různých zdrojů na území ČR umožňují v dostatečné míře hodnocení rizikovitosti území z hlediska sesouvání a vytipování lokalit, které si zasluhují maximální pozornost krizového štábu v případě vzniku ohrožení (tab. 1).

Vlastní proceduru hodnocení území z hlediska rizikovitosti pro sesouvání lze rozdělit do posloupnosti procedur:

1. *Posouzení rizikovitosti území podle geologických podmínek.* Hodnocení vychází z dat základní geologické mapy ČR měřítko 1 : 50 000. Obsah základní geologické mapy nutno nejprve účelově interpretovat (a reklasifikovat v GIS) z hlediska náchylnosti jednotlivých hornin ke svahovým pohybům a charakteru vláhového režimu. Hodnocení hornin do tří tříd rizikovitosti z pohledu rizika sesouvání je věcí expertního posouzení.
2. *Delimitace a hodnocení svahů s rizikovým sklonem.* K modelování v GIS a k odvození charakteristik reliéfu majících vliv na charakter, vznik a průběh svahových procesů slouží lidarový Digitální model reliéfu 4. generace (DMR 4G). Zásadní sledovanou lokální charakteristikou je sklon svahu. Logicky lze předpokládat, že čím vyšší bude sklon svahu, tím labilnější bude pozice masy horniny na svahu. Nutno však zohlednit fakt, že svahy vyšších sklonů jsou pokryty trvalými kulturami, zejména lesem, které po jistou dobu a do jisté míry působí jako stabilizační faktor svými kořeny pro mělké vrstvy materiálu.
3. *Zjištění kategorií orientace svahů ke světovým stranám a jejich hodnocení z hlediska náchylnosti k sesouvání.* V podmínkách ČR se může orientace svahů vůči světovým stranám projevit zprostředkovaně přes vláhový management sklonů. Svahy severních expozic zpravidla dostávají více srážek při sníženém výparu. Tím se potenciálně zvyšuje jejich ná-

chyllost k sesouvání. Jižní svahy dříve vysychají a z tohoto hlediska jsou potenciálně stabilnější. Pro srovnatelnost postačuje opět klasifikace expozic svahů do tří tříd rizikovitosti.

4. *Zjištění přítomnosti registrovaných sesuvů a jejich klasifikace do tří kategorií rizika podle zápisu jeho charakteristik.* Registrované sesuvy v databázi ČGS (Registr svahových nestabilit) jsou vedeny ve třech kategoriích: stabilizovaný, dočasně stabilizovaný a aktivní. Z hlediska aktivizace za přítomnosti příčné srážky, resp. triggeru jiného původu, lze tyto sesuvy hodnotit adekvátně třemi stupni rizika, zatímco zbylé území vykazuje z tohoto hlediska nulovou rizikovitost.
5. *Posouzení rizikovitosti území podle půdních podmínek.* Vychází z derivátů půdních map věnovaných vláhovým poměrům půd. Ty jsou významné pro hodnocení rizika sesouvání, neboť zvýšená vlhkost půd, ať již trvalá anebo periodická, snižuje soudržnost nejen půdy, ale i půdotvorného substrátu. Míra tří tříd rizikovitosti území vychází z výskytu půdních jednotek se sezónním nebo trvalým nasycením vláhou.
6. *Posouzení rizikovitosti území podle využití ploch.* Trvalé kultury mají jistý stabilizační účinek na horninovou masu na svahu bez ohledu na množství vypadlých srážek. Existuje porucha v povrchu, umožňující zatekání srážkové vody na smykovou nebo oslabenou plochu, stabilizační účinek kořenových systémů se může uplatnit jen povrchově, resp. podpovrchově do hloubky masivního dosahu kořenů. Přesto lze přisoudit trvalým kulturám, především lesu, zmiňovaný stabilizační účinek vůči sesouvání. Lesní plochy jako klíčový retardační faktor vycházejí z dat ZABAGED, jde o vrstvy „les“ a „křovinná vegetace se stromy“. Ostatní formy využití ploch jsou dále odstupňovaně příznivé vzniku sesuvů. Míra rizikovitosti území je určena konvenčně, podle stabilizační role vegetace ve třech třídách.
7. *Klasifikace území podle odstupňované vzdálenosti od vodních toků.* Vodní objekty představují riziko pro stabilitu svahu především tím, že představují zdroj vody, která se může vztláním dostat do hmoty na svahu a tak snížit jeho vnitřní stabilitu. Tradičně v ČR (ČGS) se počítá toto riziko v zónách o šířkách



Obr. 1. Výsledek hodnocení území v povodí řeky Luhu z hlediska rizikovitosti vůči sesouvání. Zdroj: ČÚZK, ČGS, VÚMOP

Vysvětlivky: černě znázorněny plochy – nejvyšší rizika v povodí

25 m, 50 m a 100 m po obou stranách vodních toků, resp. vodních ploch, tedy ve třech kategoriích rizikovitosti. Zbytek území vzdálený více než 100 m od vodních objektů nepředstavuje z tohoto hlediska riziko.

8. *Sumarizace hodnot dílčích rizik.* Sumarizace zjištěných dílčích hodnot rizikovitosti z hlediska sesouvání pro jednotlivé lokality rastrové sítě představuje jednoduchý a snadno pochopitelný postup, aniž by bylo zapotřebí vážit význam jednotlivých faktorů. Tento postup je citlivější na dílčí hodnocení, neboť absence některého z dílčích hodnocení vede k překlasifikování výsledného součtu hodnot, protože se předpokládá stejný význam (váha) všech zohledňovaných faktorů. Výsledná mapa rizikovitosti území z hlediska sesouvání demonstruje tři finální kategorie náchylnosti území k sesouvání (klasifikace podle počtu přítomných faktorů do tří tříd rizika). Výsledky procedury ukazují, že v případě zohlednění registrovaných sesuvů je výsledné hodnocení sledovaného území podstatně jednodušší. Ne vždy jsou však lokality s přítomností sesuvů všech kategorií řazeny do území zvýšeného rizika sesuvů. Řada z nich, zejména stabilizované a „dřímající“ sesuvy, se nacházejí v prostředí, jež nejeví známky

zvýšené rizikovitosti k sesouvání. Verifikace správnosti identifikace nejrizikovějších ploch (obr. 1) proběhla v souvislosti s poslední enormní srážkovou periodou v červnu 2009.

9. *Delimitace rizikové zóny podél povrchové technické infrastruktury (obalením silniční, železniční a elektrorozvodné sítě ochrannou zónou o šířce 100 m).* Lze obecně předpokládat, že v územích s odlišnými podmínkami bude rozsah území v jednotlivých kategoriích rizikovitosti odlišný. Z praktického hlediska nelze monitorovat veškeré rizikové plochy v případě splnění podmínky příčné srážky (či jiného triggeru). Naopak, nutno pozornost koncentrovat na území, kde může dojít k ohrožení životů a majetku. Jde tedy o území zástavby a technické infrastruktury reprezentované cestní, železniční a elektrorozvodnou sítí. Narušení jejich funkčnosti může nabýt široké škály důsledků včetně fatálních. Extrakt z geodatabáze ZABAGED lze rozmístění prvků sítě technické infrastruktury spolehlivě dohledat. Podobně je možné identifikovat různé typy zástavby. Za ochrannou zónu v okolí uvedených objektů lze považovat pruh o šířce 100 m (na každou stranu od liniových objektů). Technické normy sice přesně specifikují rozsah bezpečnostních zón kolem jednotlivých typů technické infrastruktury, avšak tato opatření se především týkají eventuálních antropogenních zásahů do jejich existence. Z hlediska ohrožení sesuvy je vhodné počítat s vedenou bezpečnostní zónou o šířce 100 m. V členitém území s velkou energií reliéfu tato šířka zóny patrně nepostačí k ochraně daného prvku infrastruktury. Avšak nasazení monitoringu do této zóny v případě aktuální potřeby může reálné riziko odhalit. Infrastruktura vedená pod zemským povrchem je registrována v technických mapách, ke kterým veřejnost nemá přístup. Analogicky tam postačí rovněž vymezení ochranné zóny 100 m po obou stranách liniového objektu.

Datové zdroje pro potřeby hodnocení území z hlediska rizika sesouvání při výskytu aktivizujících podmínek

Procedury této etapy jsou odstartovány, je-li splněna podmínka vzniku středně měřítkové konvektivní srážkové buňky podle informací meteorologických radarů nebo v průběhu předchozích vytrvalých srážek vypad-

Tab. 2. Seznam vstupních dat nezbytných k posouzení aktuálního rizika sesouvání v území

Pořadové číslo	Oblast	Název geodat	Správce
1	územně správní členění	CSU_US_obce	Český statistický úřad
2	hydrometeorologie	data z meteorologického radaru	Český hydrometeorologický ústav
3	hydrometeorologie	ukazatel nasycení	Český hydrometeorologický ústav

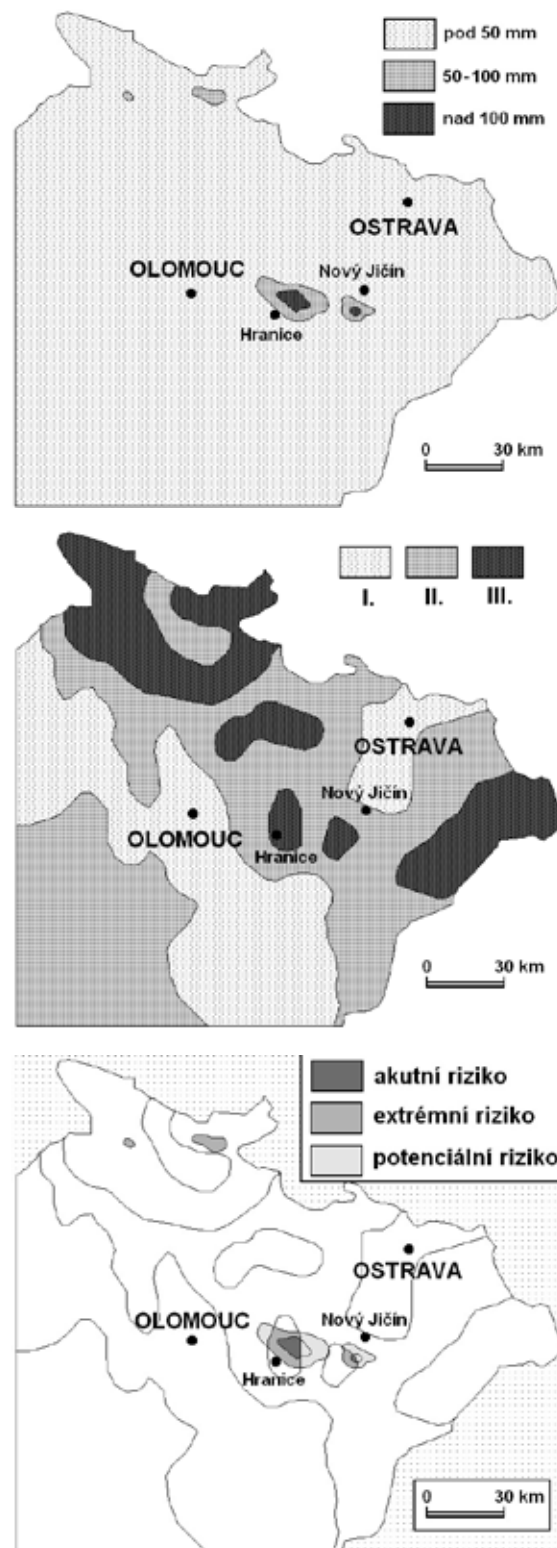
lo více než 100 mm. Od této chvíle je sledován vývoj a pohyb uvedené buňky nebo sledována další srážková činnost nad předchozích 100 mm vypadlých srážek. Po překročení sumy 50 mm srážek za právě probíhající přívalovou srážku nebo pokračující srážkové období nad 100 mm celkových srážek dochází k odstartování dalších kroků.

Následuje přijetí mapy aktuálních radarových odrazů srážkové činnosti (tab. 2). Úhrn 50 mm nepřerušovaných srážek vede k dramatickému povrchovému odtoku, od 80 mm zpravidla znamená úplné naplnění retenční schopnosti území. Do 50 mm nepřerušovaných srážek lze ještě zvážit retenční schopnost povodí, aniž by to nutně muselo vést ke kritickému snížení stability masy materiálu na svazích. Je-li možné podle radarových odrazů odhadnout dosažení hraniční úrovně minimálních kritických srážek, nutno vizuálně vymežit území s rizikovými hodnotami. Pokud je rastrový obraz dodán v negeoreferencované podobě, nutno jej vložit do souřadnic. Případnou vektorizaci rizikových areálů je získána datová vrstva pro další postup. Jde-li o alternativu dlouhodobých vytrvalých srážek, je z Českého hydrometeorologického ústavu přijata mapa jejich úhrnů pro území ČR s výřezem pro oblast nejvyšších srážkových úhrnů. Za kritické pro daný účel lze považovat zmíněné úhrny nad 100 mm (obr. 2).

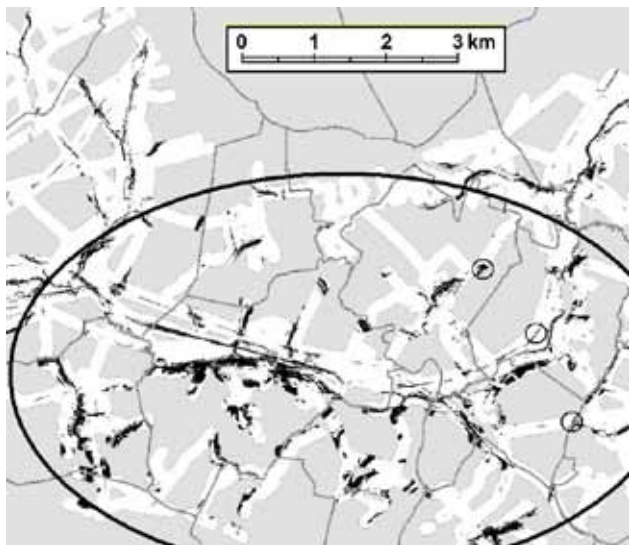
Společný překryv mapových vrstev o nejvyšší kategorii rizika sesouvání (pořízené v přípravné hodnotící fázi) s příslušným extraktem z radarového záznamu (na 50 mm aktuální intenzity srážek, resp. 100 m úhrnu posledních srážek) a výřezu mapy předchozího nasycení území vláhou s nejvyššími hodnotami poskytne obraz aktuálně nejvíce ohrožených ploch sesuvy, kde vyhlášení varování se stává nezbytností. Jejich další překryv s mapou územněsprávního členění na úrovni obcí umožní adresování varování před ohrožením sesuvy do konkrétních obcí. Ty pak zabezpečí příslušný monitoring neohroženějších ploch v ochranné zóně infrastruktury po potřebnou dobu cca max. 5 dnů po skončení příčinné srážkové události.

* * *

Demonstrováný postup byl testován na příkladu extrémní srážkové události ze dne 24. června 2009 na pomezí Novojičínska (Moravskoslezský kraj) a Hranicka (Olomoucký kraj). Ukázalo se (obr. 3), že zjištěné sesuvy proběhly výhradně v prostoru nejvyšší rizikovosti, a to bez ohledu na registrované sesuvy všech kategorií (žádný nebyl aktivován) a vesměs pod lesní nebo keřovou vegetací (těm jsou vyhrazeny sklonitější či jinak labilnější plochy), což naznačuje slabou stabilizační roli trvalé dřevinné vegetace. Hodnocení přírodních rizik se sice stává součástí územně plánovací dokumentace, ovšem pozornost je prozatím preferenčně věnována lokalitám ohroženým povodněmi. Riziko sesuvů tak stojí stranou



Obr. 2. Příklady operativní interpretace dat o sumách srážek za 24 hod. (nahore), nasycení území předchozími srážkami klasifikovaném do tří tříd rizikovosti z hlediska sesouvání: I. – nízké, II. – zvýšené, III. – vysoké (uprostřed) a jejich vzájemného naložení za účelem identifikace ohrožených ploch s odstupňovaným rizikem sesouvání (dolů). Zdroj: ČHMÚ



Obr. 3. Areály nejvyšší třídy rizika sesouvání na svazích v povodí řeky Luhy (černá barva – v dřívější většině se kryjí s plochami zástavby, kde monitoring obstarají sami obyvatelé) na pozadí ochranných zón o šířce 100 m, lemující z každé strany prvky liniové infrastruktury a zástavbu (bílá barva). Zdroj: ČÚZK, ČSÚ, ČGS, VÚMOP
 Vysvětlivky: elipsa – do obcí uvnitř neohroženější zóny směřuje varování před rizikem sesouvání a je zapotřebí monitoring ploch organizovat samosprávou obcí; černé kroužky – místa doložených sesuvů po srážkové události ze dne 24. června 2009; tmavě šedé linie – katastrální hranice obce

pozornosti. Výše demonstrováný postup je díky své jednoduchosti realizovatelný (za přispění regionálního znalce geologických poměrů) v libovolném místě. Obec či mikroregiony si hodnotící studii obdobného typu mohou nechat rovněž pořídit na komerční bázi. Operační data jsou k dispozici volně na internetu. Určité možnosti mají k dispozici rovněž pojišťovny a stát, které by měly podobně jako pro areály ohrožené povodněmi pořídit a zveřejnit hodnocení rizikovitosti území sesuvy nad kvalitním topografickým podkladem. Takový materiál by jistě uvítala široká veřejnost. Místní správa a samospráva by pak podklady rozšířené o ohroženou zástavbu a technickou infrastrukturu efektivně využila jak k monitoringu ohrožených zón po naplnění příčin, tak k řešení dopadů eventuálních svahových pohybů.

Příspěvek byl zpracován v rámci projektu Scénáře podpory krizového řízení geoinformačními technologiemi (VG20132015106) podporovaného Ministerstvem vnitra ČR v rámci 3. veřejné soutěže Programu bezpečnostního výzkumu České republiky v letech 2010 – 2015 (BV II/2-VS).

Literatura

Aleksejev, N. A.: Stichijnnye javlenija v prirodě: projavlenije, effektivnost zaščity. Moskva: Mysl, 1988, 254 p.

- Bryant, E. A.: Natural Hazards. Cambridge – New York – Melbourne: Cambridge University Press, 1991, 294 p.
- Demek, J.: Obecná geomorfologie. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1987, 476 s.
- Chung, C.-J., Fabri, A. G.: Probabilistic Prediction Models for Landslide Hazard Mapping. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1999, 65, 12, p. 1389 – 1399.
- Krejčí, O. (ed.): Regionální dokumentace rizikových geodynamických jevů v oblasti Džbánu ve středních Čechách, v brněnské aglomeraci a na Zlínsku. Díl B. Dokumentace rizikových geodynamických jevů v brněnské aglomeraci. Praha: Česká geologická služba, 2011, 37 s.
- Kyčl, P. (ed.): Regionální dokumentace rizikových geodynamických jevů v oblasti Džbánu ve středních Čechách, v brněnské aglomeraci a na Zlínsku. Díl A. Dokumentace rizikových geodynamických jevů v oblasti Džbánu. Praha: Česká geologická služba, 2011, 86 s.
- Mazur, I. I., Ivanov, O. P.: Opasnyje prirodnyje procesy. Moskva: Ekonomika, 2004, 702 p.
- Micu, M., Chendeş, V., Sima, M., Bălţeanu, D., Micu, D., Dragotă, C.: A Multi-Hazard Assessment in the Bend Carpathians of Romania. In: Glade, T., Casagli, N., Malet, J. P. (eds.): Mountain Risks: Bringing Science to the Society. Strasbourg: CERIG Editions, 2010, 576 p.
- Nemčok, A.: Zosuny v slovenských Karpatoch. Bratislava: Veda, vydavateľstvo SAV, 1982, 318 s.
- Zezere, J. L., Reis, E., Garcia, R., Oliveira, S., Rodrigues, M. L., Vieira, G., Ferreira, A. B.: Integration of Spatial and Temporal Data for the Definition of Different Landslide Hazard Scenarios in the Area North of Lisbon (Portugal). Natural Hazards and Earth System Sciences, 2004, 4, 1, p. 133 – 146.

doc. RNDr. Jaromír Kolečka, CSc., kolejka@geonika.cz
RNDr. Kateřina Batelková, batelkova@geonika.cz
doc. RNDr. Karel Kirchner, CSc., kirchner@geonika.cz
Ústav geoniky Akademie věd České republiky, v. v. i., Ostrava, oddělení environmentální geografie, Drobného 28, 602 00 Brno, Česká republika

doc. Ing. Petr Rapant, CSc., petr.rapant@vsb.cz
IT4Innovations – Národní superpočítačové centrum a Institut geoinformatiky Vysoké školy báňské Technické univerzity Ostrava, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba, Česká republika