

---

# GEOGRAFICKÝ ČASOPIS

---

52

2000

3

---

*Jozef Jakál\**

## **EXTRÉMNE GEOMORFOLOGICKÉ PROCESY V KRASE**

**J. Jakál: Extreme geomorphic processes in karst. Geografický časopis, 52, 2000, 3, 3 figs., 14 refs.**

The paper analyses the origin and significant properties of extreme geomorphic processes in karst relief. Criteria for delimitation of territory threatened by the above-mentioned processes are set leaning on the recognition of the surface of karst by the methods of geomorphic research and the particular developmental stage of underground cave systems by the methods of speleological research. Causes of origin and acceleration of the onset of extreme geomorphic processes are identified. Attention is paid to forms of collapse of cave-ceilings provoked by natural gravitational processes and to collapses of the karst surface provoked by anthropic activity, gravitational collapse of blocks in high mountains, debris avalanches, and flooding of cave systems, which occurred in the karst of the Western Carpathians

**Key words:** extreme geomorphic processes, karst, anthropic impact, Western Carpathians

### ÚVOD

Štúdium extrémnych geomorfologických procesov úzko súvisí s výskumom geomorfologických hazardov a rizík a je aktuálne v takmer každom type reliéfu, krasový reliéf nevynímajúc. Extrémne geomorfologické procesy sú charakteristické *náhlym nástupom, rýchlym priebehom a krátkou dobou trvania*. V prípade, že tieto procesy postihnú záujmové územie človeka so škodami na majetku alebo dokonca so stratami na životoch, bývajú označované ako katastrofické. Pokiaľ nie, dívame sa na ne ako na zaujímavé prírodné fenomény (Ivan 1988).

---

\*Geografický ústav SAV, Štefánikova 49, 814 73 Bratislava

V našej a českej literatúre bol termín hazard nahradený výrazom „hrozba“ (Minár a Tremboš 1994, Hrádek et al. 1994). Stanovisko k terminologickým otázkam a priestorový, geografický pohľad na problém hazardov a rizík sme vyjadrili v predchádzajúcej práci (Jakál 1998).

*Určitý prírodný geomorfologický jav v latentnom štádiu vývoja znamená potenciálnu hrozbu pre územie, v ktorom sa nachádza. V štádiu mobility (priebehu procesu) je prírodným živlom (extrémnym geomorfologickým procesom), ktorý rýchlo a výrazne mení prostredie krajiny, spôsobuje v rizikovej oblasti škody a vyvoláva katastrofické udalosti.*

V našej štúdií sa budeme venovať extrémnym geomorfologickým procesom, ktoré prebiehajú v krase a sú vyvolané procesmi rozpúšťania karbonátových hornín, teda špecifickým procesom krasovatenia, fyzikálnym zvetrávaním hornín, procesmi gravitačného rútenia, najčastejšie kombináciou všetkých troch procesov.

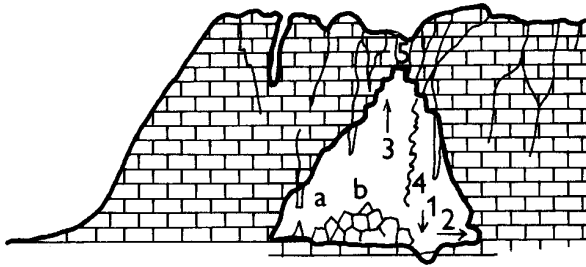
#### PODMIENKY VZNIKU EXTRÉMNYCH GEOMORFOLOGICKÝCH PROCESOV V KRASE

Krasový reliéf nesie celý rad špecifických znakov a procesov, ktoré sú odrazom vlastností karbonátových hornín, najmä ich priepustnosti a rozpustnosti. Tieto horniny sa ďalej vyznačujú vysokou sekundárnou pórovitosťou, ktorá umožňuje rýchlu infiltráciu zrážkových i povrchových vôd tečúcich do podzemia. Laminárne prúdenie krasovej vody miestami prechádza v turbulentný pohyb vody. V tomto štádiu vývoja dutín prebieha už prenos nerozpustného materiálu a dochádza k ich koróznno-eróznemu rozširovaniu. Tento proces prebieha najmä v tektonicky usmernených koridoroch vertikálneho pohybu vody a prenosu materiálu. Podstatná časť drobných dutín a puklín sekundárnej pórovitosti zostáva vyplnená nerozpustným materiálom.

Premiestnenie riečnej siete z povrchu krasu do podzemia, najmä u planinového typu krasu, ale i alochtónnych tokov u rozčlenených horských typov krasu znamenalo aj premiestnenie koróznej a eróznej sily riečnych tokov do horninového prostredia. Vznik rozsiahlych jaskynných systémov vo viacerých úrovniach nad sebou oslabuje stabilitu povrchu horského masívu. Objem priestorov hustej siete dutín a jaskynných chodieb v horninovom masíve zodpovedá často objemu priestoru povrchových riečnych dolín. Príkladom je Demänovský jaskynný systém, ktorý dosahuje v pravobočnom masíve Demänovskej doliny 30,1 km a jaskynný systém Stratenskej jaskyne s dĺžkou 21,7 km v masíve Ondrejiska v Slovenskom raji.

Popri procesoch hĺbkového krasovatenia, ktoré sú usmernené úložnými pomermi vápencov a ich tektonickou porušenosťou, dochádza v jaskynných systémoch k denudačným procesom smerom do stropu jaskýň počas sífónovej cirkulácie krasovej vody a k procesom odrobovania a opadávanie skál z klenbových častí jaskýň, predovšetkým však zo stropov jaskynných dômov vo voľných priestoroch. Tento proces, označovaný ako inkásia (Bögli 1978), pokladáme za rozhodujúci činiteľ, ktorý narušuje stabilitu horninového komplexu ležiaceho nad podzemnými priestormi a je špecifický len pre kras. Proces inkásie vyúsťuje do náhleho zrútenia stropov jaskýň do podzemia a do tvorby prepadových

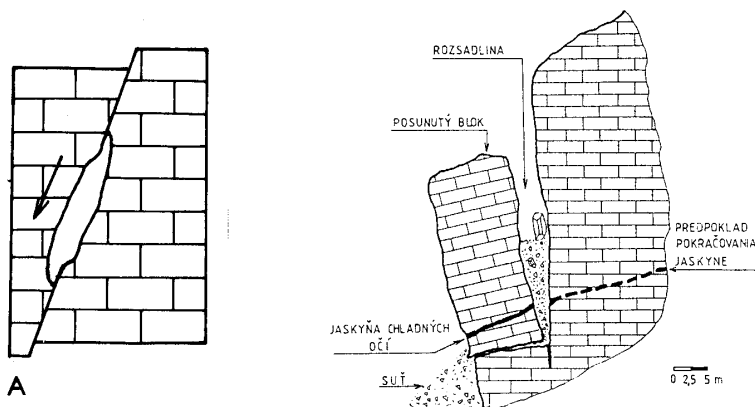
krasových jám studňového tvaru, prípadne až ku vzniku priepastí typu *light hole*. Náhle zrútenia stropov jaskýň nevznikajú iba v najvyšších a najstarších jaskynných úrovniach, ktoré ležia v blízkosti povrchu, ale i medzi jednotlivými úrovňami v podzemných jaskynných systémoch. Popri procese korózie, erózie, inkázie silne spolupôsobí gravitačný proces, ktorý je impulzom zrútenia pri prekročení prahu stability jaskynného nadložia.



Obr. 1. Denudačné procesy v jaskynnom priestore.

Smer pôsobenia denudačných procesov. 1 – hlbková erózia podzemných riečnych tokov, 2 – bočná erózia a korózia podzemných riečnych tokov, 3 – inkasias, odrobovanie a odpadávanie skál zo stropu jaskyne, 4 – prúd puklinovej vody v čase zrážok, 5 – rozrušené nadložné horniny jaskynnej klenby. Jaskynná výplň: a. sinter, b. suť

Ďalším extrémnym geomorfologickým procesom je gravitačné zrútenie obrovských skalných blokov na okrajových strmých svahoch krasových masívov v podobe zlomísk. Tento jav je však v Západných Karpatoch častejší v iných typoch reliéfu, najmä vo vysokých pohoriach. Pre naše krasové územia sú typické vence úsypových kužeľov, lemujúcich úpätie krasových planín, ktoré vystupujú do výšky dvoch tretín svahov. Ide o postupný, nie náhly vznik foriem, tvoriacich sa počas pleistocénneho a holocénneho obdobia a v dôsledku mrazového



Obr. 2. Prejavy gravitačného pôsobenia v krase.

A. Gravitačný pokles bloku pozdĺž tektonickej pukliny meniaci priečny profil jaskynnej dutiny.  
B. Odklon bloku od rozsadliny viažúcej sa na gravitačnú puklinu na Prednom Choči (podľa Hlaváča 1994).

zvetrávania sú súčasťou súčasných geomorfologických procesov. V našom kra-  
se nepoznáme doteraz formu zlomiska.

Odlúčené zóny blokových deformácií boli vyčlenené po obvode Plešivskej  
planiny a na SZ svahoch Šilickej planiny (Nešvara 1974). V teréne však pozoru-  
jeme, a je to čitateľné i z topografických máp, že úroveň niektorých vrcholov na  
okraji planín je vyššia oproti vrcholom vo vnútri planín (s výnimkou kužel'o-  
vých vrchov, zbytkov geneticky starších foriem). Veniec súvislých úsypov na  
úpätiach planín a výšková hladina vrcholov nenasvedčuje na gravitačný pokles  
okrajových svahových partií planín.

### SIGNIFIKANTNÉ ZNAKY KRASOVÉHO RELIÉFU INDIKUJÚCE VZNIK EXTRÉMNYCH GEOMORFOLOGICKÝCH PROCESOV

Krasové formy reliéfu vytvorené v odolných karbonátových horninách si  
veľmi dlhú dobu zachovávajú svoj pôvodný tvar. Škrapa a krasová jama si za-  
chovávajú svoj tvar pri celkovom znižovaní reliéfu, u škráp často s tendenciou  
zmenšovania formy, u krasovej jamy s tendenciou zväčšovania formy.

Podzemné formy krasu v dôsledku korózie a erózie zväčšujú objem svojich  
priestorov, sekundárna výplň - speleothemy svoj objem zväčšujú, resp. vyplňujú  
pukliny a spevňujú pórovitú horninu.

Tektonickými pohybmi blokov dochádza k narušeniu štruktúry formy, resp.  
skupiny foriem a ich vzájomnej pozície.

Rozsah potenciálne ohrozeného územia extrémnymi geomorfologickými  
procesmi môžeme vymedziť na základe:

a) speleologického poznania priebehu podzemných jaskynných priestorov,  
štádia ich geomorfologického vývoja a polohy priestorov v horninovom masíve  
k povrchu krasu. Úroveň stability nadložných hornín je vyjadrená stupňom se-  
kundárnej pórovitosti, intenzitou súčasných procesov inkásie a množstvom opa-  
daného materiálu na dne jaskyne. Takto môžeme hodnotiť len známe a dostupné  
priestory. Počítačovým spracovaním štruktúrno-geologických, tektonických a  
hydrologických údajov, doplnených o výsledky geofyzikálnych meraní, je mož-  
né vyjadriť predpokladaný priebeh a rozsah človekom ešte nepreskúmaných jas-  
kynných priestorov;

b) podľa znakov nestability povrchového krasu, ktorá je vyjadrená početnos-  
ťou výskytu zrútených krasových jám, ich deformáciou, vznikom menších para-  
zitickej krasových jám na svahoch starších foriem, tvorbou gravitačne pokles-  
nutých kryh na okraji krasu, tvorbou jaskýň rozsadlinového typu. Ďalej je to di-  
ferencovaný pokles mohutných blokov skrasovateného vápenca vo vnútri kraso-  
vých planín, identifikovateľných priebehom zlomov a vyrovnanou úrovňou ab-  
solutnej hĺbky krasových jám v jednotlivých blokoch.

Vznik extrémnych geomorfologických procesov je podmienený tromi zá-  
kladnými činiteľmi:

1. prírodnými gravitačnými procesmi pri prekročení prahu stability reliéfu  
(náhly nástup môže byť akcelerovaný zemetrasením, vulkanizmom);

2. prírodnými procesmi, ktoré sú akcelerované zásahom človeka (práca v lo-  
moch, doprava);

3. priamo človekom pri podrúbaní počas podzemnej ťažby nerastných surovín.

*Vznik prepádových foriem v krase podmienený prírodnými procesmi*

Prepadové krasové jamy vznikajú náhlym zrútením stropu podzemných dutín pôsobením gravitačných síl. Najčastejšie vznikajú v priestoroch domovitého charakteru, viažúcich sa na križovatky tektonických puklín. Proces inkásie, odrobovanie skál zo stropov jaskyne prebieha oddola nahor, čím sa stenčujú a oslabujú nadložné horniny. Prelomenie jaskynnej klenby je proces náhly, často jednorázový.

Podobným spôsobom vznikajú priepasti typu *light hole*, ktoré majú hĺbku niekoľko desiatok metrov so strmými svahmi, so zrejším pokračovaním do jaskynného systému na jej dne.

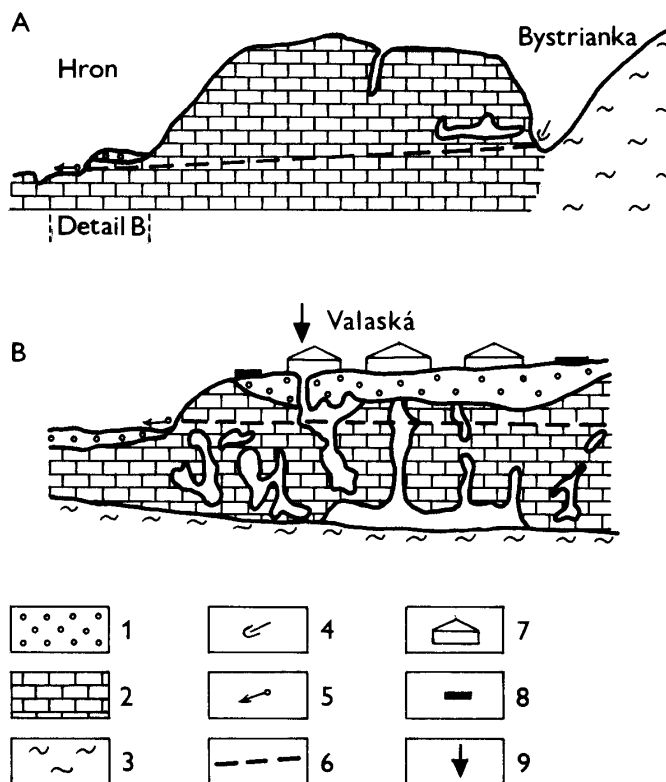
Medzi takéto formy patria dve známe ľadové jaskyne – Silická ľadnica v Slovenskom krase a Dobšinská ľadová jaskyňa v Slovenskom raji. Obe ležia v horných, najstarších vývojových úrovniach rozsiahlejších jaskynných systémov. Pozoruhodné je zdvojenie pôvodne na jaskynný systém sa viažúcich priepastí. V blízkosti priepasti Silickej ľadnice leží prepádová krasová jama s hĺbkou 20 m a priemerom 100 m. V blízkosti Dobšinskej ľadovej jaskyne leží prepádisko Duča (dlhé 250 m a hlboké 20 m), pretiahnuté v smere hlavnej tektonickej línie SV-JZ.

Bližšie datovať vek zrútenia stropov môžeme len u Silickej ľadnice, ktorá má hĺbku 110 m. Vek mladší ako 2000 rokov je určený na základe archeologických nálezov svedčiacich o osídlení jaskyne v dobe laténskej (0-400 rokov pred Kristom). Zrútenie stropu nastalo po, resp. v čase osídlenia jaskyne. Následne bola jaskyňa zaľadnená.

*Zrútenie stropov jaskynných dutín v kotlinovom krase akcelerované dopravou*

Časť obce Valašská leží na strednej riečnej terase Hrona 12-18 m vysokej s eróznou bázou 7-8 m (riss - würm). Pod štrkovými nánosmi bol speleologickým a speleopotápačským prieskumom preukázaný vysoký stupeň skrasovatenia. Krasové dutiny vo vápencoch sú 30 m hlboké, 10 m široké, v dolomitoch s max. šírkou len 1 m (Kubíny 1974). Krasová voda vytvára podzemné nádrže s výrazným podzemným prúdením vody.

Bystriansko-valaský kras leží medzi nízkotatranskou dolinou potoka Bystrianka, ktorá ho ohraničuje zo severu, a dolinou Hrona, ohraničujúcou územie z juhu. Z koryta Bystrianky, ktorá leží vo vyššej nadmorskej výške, prenikajú prepádové vody systémom ponorov do podzemia a vystupujú na povrch v bariérových krasových prameňoch (narážajúc na dolomity) v nižšie ležiacej doline Hrona. Prevýšenie medzi ponormi a krasovými prameňmi činí 80 m. Stúpanie hladiny podzemnej vody v čase prívalov vody a ich pôsobenie tlakovou eróziou do stropu podzemných dutín oslabuje stabilitu jaskynných stropov, ktoré miestami siahajú až na bázu štrkov pokrývajúcich kras. Dňa 2. septembra 1964 došlo k prvému prepadu v hospodárskej budove, a na jeseň 1968 a vo februári 1969 vznikli nové poklesy s následným poškodením budov iniciované dopravnými otrasmami na hlavnej ceste vedúcej cez obec (obr. 3).



Obr. 3. Prepadové územie Bystriansko-valaského krasu.

A. Geomorfologický rez Bystriansko-valaským krasom.

B. Detailný geomorfologický rez kotlinovým krasom z okolia obce Valaská (Kubíny 1974; upravené). 1 – kvartérne štrky a piesky, 2 – triasové vápence, 3 – nepriepustné permské súvrstvie, 4 – ponory, 5 – krasové pramene, 6 – úroveň podzemných krasových vôd, 7 – budovy, 8 – cesty, 9 – miesto prepadu

Podobný jav prepadnutia povrchu do jaskynných dutín, ktorý sme už opísali (Jakál 1993), vznikol v oblasti Chalmovej. Vznik prepadu bol vyvolaný náhlym zdvihnutím hladiny podzemnej vody, spôsobený prienikom vody z odkaliska popola do krasových dutín a akcelerovaný dopravou.

#### *Svahové poruchy vo vysokých pohoriach*

Výrazné svahové poruchy sa viažu na krasové územia ležiace v hrebeňových partiách jadrových pohorí. Triasové dolomity a vápence ležia na mäkkom podklade neokomu, tvoreného slienitými vápencami a bridlicami. Takáto pozícia je v oblasti Veľkého Rozsutca v Malej Fatre a Sivého vrchu v Západných Tatrách. Plazivé podpovrchové poruchy sa prejavujú systémom trhlín, rýh a skalných stupňov. Vznikajú blokové rozpadliny až blokové polia. Svahové sutiny prechádzajú do zosunov, čelné časti zosunov prechádzajú do tečenia (Nemčok

1982). Hlavné ryhy dosahujú dĺžku niekoľko sto metrov a šírku desiatok metrov. Uvedené prejavy zosunových procesov ukazujú na ich recentnú tvorbu. Odľahlosť územia neumožňuje vyhodnotiť rýchlosť uvedených procesov.

### *Mury*

Prívalové skalné prúdy nie sú formou, ktorá je ovplyvnená procesom krasovatenia, i keď sa v krasových pohoriach vyskytujú, najmä na kontakte vyššie ležiaceho krasu a nižšieho nekrasového územia. Ich vznik sa viaže na lavínóznomurové ryhy vysokých pohorí (Plesník, in Mazúr 1963). V oblasti Malej Fatry na svahoch Veľkého Rozsutca lavínové ryhy prechádzajú z vyššej polohy, kde sú založené na triasových dolomitoch, do nižšej časti svahov, kde rozčleňujú podložné, málo priepustné sliene a slienité vápence kriedy. V čase veľkých lejakov je nahromadená suť ležiaca na dne rýh silne zvodnená, dáva sa do pohybu a na úpäť svahu vyhrnie kužeľ. Doteraz najväčšia mura na okraji krasu vznikla v oblasti Štefanovej v roku 1848, keď z Kremínnej doliny bola vyplavená mura s objemom 25 000 m<sup>3</sup> hmoty, ktorá zničila obec a spôsobila smrť 14 ľudí. Recentné mury menšieho rozsahu sme pozorovali i v oblasti krasu Belianskych Tatier.

### *Záplavy v jaskynných systémoch*

Zložitosť cirkulácie podzemných krasových vôd sa prejavuje vo veľmi rozdielnej citlivosti jednotlivých krasových prameňov na mimoriadne silné zrážky. Rozdiel je predovšetkým v ich výdatnosti. Niektoré pramene reagujú bezprostredne po zrážkach rýchlym zvýšením odtoku a zakalením vody, iné oneskorene len miernym, ale dlhodobejším zvýšením odtoku, bez znečistenia vody. V prvom prípade dochádza k zaplaveniu časti jaskynného systému, čo v sprístupnených jaskyniach (ako napr. Jasovská, Važecká alebo Gombasecká) vyvoláva prevádzkové problémy.

V oblasti kontaktného krasu s vyvinutými slepými dolinami a okrajovými poljami (napr. južný okraj Silickej planiny) pri náhlych a výdatných lejakoch steká voda z nekrasového územia veľmi rýchlo do uzáverov slepých dolín a ponormi do jaskynného prostredia. Prívalová voda, zakalená časticami pôdy, často chemicky znečistenými, preniká do podzemia, ktoré zaplavuje a bahno v niektorých úsekoch jaskýň sedimentuje. Takým je príklad Domice (Jakál 1979).

Alochtónne toky sa pri náhlom zvýšení prietoku vody ponárajú do podzemia, v ktorom sa zvyšuje hladina podzemných riek. Príkladom je jaskyňa Vyvieranie v Demänovskom jaskynnom systéme, v minulosti využívaná na dozrievanie bryndze. Prívalové vody, ktoré vznikli po vytrvalom daždi, prelomili 20.7.1958 železné vráta a vyplavili tri vagóny bryndze a tvarohu uloženého v sudoch na povrch do Demänovskej doliny (Benický 1957-58).

Systémom podzemných a povrchových foriem reliéfu, ktoré sú geneticky prepojené a krasovými vodami komunikujúce, sa vlastný kras stáva neprijateľným prostredím pre výstavbu vodných diel. Kras reaguje na zmenu vyvolanú v krajine človekom a urýchľuje prienik vody do podzemia a cez podzemie mimo kras. Únik vody bol zaznamenaný pri vodných nádržkách Baračka na potoku Teplička a Buková na potoku Hrudka (Ingr a Šarík 1976). Výstavba vodných nádrží v krase si vyžaduje podrobný speleologický prieskum, náročné technické

opatrenia, injektovanie dutín, čo zvyšuje náklady na výstavbu, napríklad vodnej nádrže Čierny Váh.

## ZÁVER

Extrémne geomorfologické procesy krasu sú prejavom labilnosti krasového geosystému. Akcelerácia niektorých procesov je odozvou na nevhodné aktivity človeka. Silné povrchové skrasovatenie krasových plošín systémom nahustených krasových jám v planinovom type krasu vylúčilo výstavbu sídel vo vlastnom krase. Sídlá a aktivity človeka sa skôr sústreďujú na úpätie krasu. Výrazne členitý reliéf horských typov krasu a jeho morfometrické parametre limitujú využitie krajiny človekom. Najviac je ohrozený kotlinový typ krasu, na ktorom sa vybudovali niektoré časti sídel, komunikácie i technické stavby. Tu je aj najčastejší výskyt kolapsov vyvolaných človekom v krajine. Poznaním foriem exo- a endokrasu, stupňa skrasovatenia a súčasných procesov krasovatenia môžeme predchádzať vzniku neželaných náhlych geomorfologických procesov.

*Tento príspevok bol spracovaný v rámci riešenia projektu 2/7049/20, ktorému bol udelený grant na základe odporúčania Vedeckej grantovej agentúry MŠ SR a SAV.*

## LITERATÚRA

- BENICKÝ, V. (1957-58). Pochybné využitie jaskyne. *Slovenský kras*, 2, 168.
- BÖGLI, A. (1978). *Karsthydrographie und physische Speläologie*. Berlin (Springer).
- HLAVÁČ, J. (1994). Jaskyňa chladných očí. *Sinter*, 2, 15-16.
- HRÁDEK, M., KOLEJKA, J., ŠVEHLÍK, R. (1994). Náhlá ohrožení geomorfologickými katastrofami v České republice. *Sborník České geografické společnosti*, 99, 201-214.
- INGR, M., ŠARÍK, M. (1976). Poznatky z inžinierskogeologického prieskumu pre vodné diela v krasovom prostredí. *Mineralia Slovaca*, 8, 3-22.
- IVAN, A. (1988). Aktualizmus, katastrofizmus a súčasná geomorfologie. *Zprávy Geografického ústavu ČSAV*, 25, 4, 5-18.
- JAKÁL, J. (1979). Príspevok k problematike ochrany krasovej krajiny a jaskýň. *Slovenský kras*, 17, 3-22.
- JAKÁL, J. (1993). Vplyv odkalísk popola na krajinu v oblasti Chalmovej na Hornej Nitre. *Geografický časopis*, 45, 67-79.
- JAKÁL, J. (1998). Extrémne geomorfologické procesy ako prírodné živly. *Acta Facultatis Studiorum Humanitatis et Naturae Universitatis Prešoviensis, Folia geographica*, 33, 2, 297-304.
- KUBÍNY, D. (1974). Správa o geologických a speleologických pomeroch prepádového územia vo Valaskej pri Brezne. *Slovenský kras*, 12, 135-156.
- MAZÚR, E. (1963). *Žilinská kotlina a príľahlé pohoria*. Bratislava (Vydavateľstvo SAV).
- MINÁR, J., TREMBOŠ, P. (1994). Prírodné hazardy - hrozby, niektoré postupy ich hodnotenia. *Acta Facultatis Rerum Naturalium Universitatis Comenianae Geographica*, 35, 173-194.
- NEMČOK, A. (1982). *Zosuny v Slovenských Karpatoch*. Bratislava (Veda).
- NEŠVARA, J. (1974). Deformace krasových masívů Západních Karpat. *Sborník geologických věd. Hydrologie, inženýrská geologie*, 11, 177-192.



---

*Jozef Jakál*

## **EXTREME GEOMORPHIC PROCESSES IN KARST**

Extreme geomorphic processes are characterized by a sudden onset, rapid course and short duration. The activity of these processes is usually preceded by what can be called a latent stage of development, a potential threat for the surrounding environs. When activated it becomes a natural element, which rapidly and distinctly changes landscape, causes damage and provokes catastrophic events. We have focused on development of extreme geomorphic processes in the karst of the Western Carpathians. These processes are the result of common action of the processes dissolving the rocks, such as karstification, physical weathering and gravitation. Significant properties of karst relief indicating potential origin of extreme geomorphic processes are found both on surface and within cave systems. These processes are triggered of by:

- a) natural gravitation process in case the threshold of relief stability was exceeded (accelerated earthquake, volcanism),
- b) natural process accelerated by anthropic impact (quarrying, transport),
- c) direct activity of man (mining).

An example of fall of the cave ceiling and origin of a light hole type of abyss is Silická ľadnica cave in Slovenský kras and the entrance part of Dobšiná Ice Cave. Anthropically provoked collapses on karst surface originated in basin karst in the area of Valaská and Chalmová. Disintegration of ridges and gravitational collapse of blocks in high-mountain karst were observed in the area of Veľký Rozsutec in the Malá Fatra Mts. and Sivý vrch in the Western Tatras. In time of high precipitation the water level of some underground streams rises and the caves are flooded. In the contact karst in the south of Silická planina the Domica cave was often flooded in the past when the flash water of non-karstic area of a blind valley penetrated into it.

Translated by H. Contrerasová