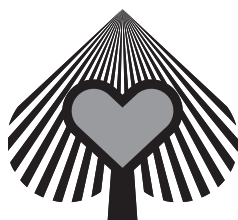


Přírodní katastrofy a rizika

Príspevek geologie k ochraně lidí a krajiny před přírodními katastrofami

Zdeněk Kukul
Česká geologická služba

Karel Pošmourný
Ministerstvo životního prostředí České republiky



edice PLANETA 2005
odborný časopis
pro životní prostředí

Ročník XII, číslo 3/2005
ISSN 1213-3393
MK ČR E 8063

Vydává Ministerstvo
životního prostředí
Vršovická 65, 100 10 Praha 10
tel. 267 122 549
fax: 267 126 549

Titul PLANETA má registrováno
Ministerstvo životního prostředí
a časopis vychází 6 až 12x ročně
jako monotematická čísla věnovaná
problematice životního prostředí.

Obsah

Co jsou přírodní katastrofy a rizika?	4
Vysvětlení odborných a administrativních termínů, týkajících se přírodních katastrof a krizí	6
Klasifikace přírodních katastrof, způsobených geologickými činiteli	9
Zemětřesení.....	10
Monitorování zemětřesné činnosti	13
Ochrana a předpověď.....	14
Vulkanické riziko v České republice?	15
Svahové pohyby	17
Neobvyklé, avšak důležité názvy	21
Největší a nejtragičtější	22
Sněhové laviny	22
Ochrana před lavinami.....	24
Přírodní katastrofy jsou zcela normálními geologickými procesy.....	24
Rizika působení větru na zemský povrch	25
Prachové a pískové bouře.....	26
Geologické faktory vzniku říčních povodní.....	27
Rizika rychlých přírodních poklesů povrchu.....	29
Rizika umělých poklesů povrchu vlivem poddolování.....	30
Rizika horninové radioaktivity.....	32
Radonové riziko.....	35
Rizika chemického znečištění prostředí přírodními procesy	38
Riziko globálního oteplování.....	40
Rizika hypotetická.....	41
Uvidí naše děti z Krkonoš moře?	41
Riziko změn magnetického pole Země.....	42
Dopadne na Zemi mimozemské těleso?	42
Mezinárodní aktivity ve zmírňování účinků přírodních katastrof	43
Ochrana našeho obyvatelstva v zahraničí.....	45
Přírodní katastrofy a rizika podle zemí	47
Použitá a doporučená literatura	50
Internetové stránky	52

Úvod

Na zemském povrchu dochází k neustálým změnám. Jejich příčinou jsou jednak přírodní procesy, jednak lidská činnost. Pozorujeme sami kolem sebe, jak v současnosti lidé ovlivňují krajinu mohutněji a rychleji než sama příroda. Přesto však extrémy v chování přírody působí výrazně na vývoj civilizace a současné obyvatelstvo. Jsou to mimořádně rychlé přírodní procesy, které mají zdroj v atmosféře, vodstvu, na zemském povrchu, v zemské kůře, ba i v zemské plášti. Jsou nezávislé na činnosti lidstva, případně, jak se však spíše dohadujeme, je člověk ovlivňuje spíše nepřímo. Pokud člověk nemůže zabránit takovým situacím, musí alespoň omezit jejich účinky.

Katastrofy a krizové situace, způsobené atmosférickými a hydrologickými procesy, byly popsány a zhodnoceny v přehledné publikaci Ministerstva životního prostředí ČR a Českého hydrometeorologického ústavu „Krizové situace, způsobené přírodními vlivy (Praha, 2002)“.

V našem textu se soustředíme na pevné zemské těleso, jeho povrch, jeho celou zemskou kůru i podložní plášť. Jelikož však i působení ovzduší a vody na pevnou Zemi spadá do geologie, musíme se dotknout i takových procesů.

Důležité však je, že se jen velmi okrajově zmíníme o přírodních katastrofách, způsobených přímo lidskou činností, bude to třeba o poddolování, jež vyústí v destruktivní poklesy zemského povrchu. Bude to i v případě ničivých sesuvů, na jejichž vzniku se též podepsali lidé. Zajímá-li se čtenář o to, jak člověk ovlivňuje Zemi a geologické pochody, pak odkazujeme na knížku Z. Kukala a F. Reichmanna „Horninové prostředí České republiky, jeho stav a ochrana“ (Český geologický ústav, 2000).

Geologie je velmi širokým vědním oborem a její specialitou je, že studuje nejenom to nejužitečnější, co příroda člověku přináší, jako nerostné a energetické zdroje, ale i to, co lidstvo ohrožuje, jako jsou přírodní katastrofy. Právě těm se věnujeme na následujících řádcích.

Co jsou přírodní katastrofy a rizika?

Pojem katastrofa můžeme užít v úzkém či širším smyslu. Podle přísné definice je v užším smyslu katastrofa procesem, který za sebou zanechá lidské oběti a materiální škody. Kolik to má být minimálně obětí a jaké škody, na tom se odborníci neshodli. Podle terminologie, používané významnými světovými organizacemi, jako jsou OSN, Světová banka a Evropská banka, musí být počet obětí nejméně 25 a škod alespoň za 25 milionů dolarů. Jedna položka však stačí, buď počet obětí nebo materiální škody. Pokud jsou následky menší, dávají tyto organizace přednost termínu „disaster“ (česky pohroma). Jiným jazykovým problémem je slovo „rychlý“. Katastrofa má být „rychlým procesem“, co však tím přesně rozumíme? Geologové pod slovem „rychlý“ mohou chápat i něco, co trvá desetitisíce let. Je-li však něco „rychlého“ v případě přírodních katastrof, pak to jsou vteřiny, minuty, hodiny, dny, někdy i týdny. Pochod samotný může trvat vteřiny, jeho následky však i mnoho let.

Katastrofy, o kterých píšeme, omezíme adjektivem „přírodní“. Zde k nedorozumění obvykle nedochází, „přírodní“ prostě znamená, že ke katastrofě dochází bez lidské spoluúčasti. Tak přísně jednoznačné to však není, neboť některé katastrofické procesy mohou být vyvolány předchozí lidskou činností. Příklady jsou zřejmé, třeba povodeň bývá zesílena předchozím odlesněním krajiny, velký sesuv uvolněn zatížením svahu nebo vybudováním komunikace pod ním. Kdybychom však v takových úvahách pokračovali a dotahovali je ještě dále, mohli bychom též tvrdit, že v pozadí větrných smrští stojí též člověk tím, že spalováním vyslal do atmosféry tolik skleníkových plynů, že ji ohřál a tak způsobil rychlejší pohyby vzdušných mas. Tak daleko však nepůjdeme a budeme definovat přírodní katastrofy takto:

Přírodní katastrofa je rychlým přírodním procesem mimořádných rozměrů, který má na svědomí lidské oběti a velké materiální škody. Tento proces je způsoben účinky gravitace, zemské rotace či rozdílů teplot. Katastrofy postihují pevnou Zemi, vodstvo i atmosféru.

Podstatou všech přírodních katastrof jsou čtyři hlavní procesy:

1. rychlé pohyby hmot (zemětřesení, svahové pochody),
2. uvolnění hlubinné zemské energie a její převedení na povrch (sopečná činnost, zemětřesení).
3. zvýšení vodní hladiny řek, jezer a moří (povodně mořské zátopy, cunami).
4. vyrovnávání teplotních rozdílů v atmosféře (orkány, tropické cyklóny).

Podle statistiky UNESCO přijde na celé Zemi každý stotisíc člověk o život přírodní katastrofou. Podle jiného výpočtu je roční průměr obětí přírodních katastrof za posledních 100 let 16 000, avšak toto číslo vylo uveřejněno ještě před prosincem roku 2004, kdy došlo k jedné z největších přírodních katastrof novodobé historie, k zemětřesení a vlně cunami v Indickém oceánu s odhadem obětí v počtu 300 000. Je těch zmíněných 16 000 obětí mnoho nebo málo? Srovnáváme-li s počtem obětí automobilizmu (250 000 ročně), zdá se to málo, avšak podle jiných hledisek je to číslo velké až děsivé.

Pro zajímavost připojíme i odhady amerických statistiků, kteří posuzovali pravděpodobnost úmrtí z různých příčin.

Čísla v tabulce znamenají pravděpodobnost, že člověk v daném roce zemře:

Příčina	Pravděpodobnost
čtyřicetiletý se spotřebou nad 10 cigaret denně	1 : 200
přirozené úmrtí ve 40 letech	1 : 850
otrava, náhlá nespecifikovaná zdravotní příčina	1 : 3 300
chřipkové onemocnění	1 : 5 000
nehoda na ulici (střední Evropa)	1 : 8 000
leukémie	1 : 12 500
zemětřesení (obyvatel Íránu)	1 : 23 000
sportovní činnost	1 : 25 000
nehoda při domácích pracích	1 : 26 000
pracovní úraz v zaměstnání	1 : 43 500
vražda (střední Evropa)	1 : 100 000
zemětřesení (obyvatel Kalifornie)	1 : 2 000 000
zabití bleskem	1 : 10 000 000
větrná bouře (obyvatel severní Evropy)	1 : 10 000 000

Z přírodních katastrof zařadili američtí statistici do tohoto seznamu zemětřesení, kde je v rizikovém Íránu pravděpodobnost úmrtí v řádu několika desítek tisíců let a v o něco bezpečnější Kalifornii v řádu několika milionů let. U větrných bouří v severní Evropě je pravděpodobnost úmrtí ještě menší, asi stejná jako u zabití bleskem. Bohužel, autoři nepočítali ani se sopečnou činností, ani s tropickými cyklóny a povodněmi, u nichž by pravděpodobnost měla být větší než u zemětřesení. Záleží ovšem na tom, pro jaké země a jaká území by taková čísla měla platit. Zkusíme připojit náš vlastní odhad pro Českou republiku. Pravděpodobnost úmrtí při zemětřesení a sopečném výbuchu by se měla blížit nule, nepočítáme-li ovšem zemětřesení v Komárně na Slovensku v letech 1764 a 1924 (viz str. 12). U povodní za posledních 100 let, vezmeme-li v potaz zátopy let 1997 a 2002 a některé lokální bleskové povodně, odhadneme pravděpodobnost na 1 : 10 000 000.

Všechna tato čísla jsou sice zajímavá, ale za exaktní je považovat nemůžeme. O trochu více přesnosti do posuzování rizika přírodních katastrof se pokoušeli další experti a pro výpočet rizika navrhli tuto formuli:

$$\text{Riziko} = f(\text{PA}, \text{PB}, \text{PCB}, \text{C})$$

Kde f = faktor, který je různý u různých katastrof,

P = pravděpodobnost katastrof, kterou lze vypočítat podle četnosti katastrof předchozích,

P_B = pravděpodobnost vzniku katastrofy o různé kvalitě a intenzitě ničivého procesu (např. výšky vln u cunami, rychlosti větru u tropické cyklóny, amplitudy zemětřesných vln apod.),

P_{CB} = vnější podmínky, jako je hustota osídlení, charakter staveb, sociální a politické poměry,
 C = následky katastrofy

Tato rovnice je jistě určitým vodítkem, jak bychom mohli číselně vyjádřit riziko určitých katastrof; potřebuje však ještě vysvětlení, jaké hodnoty volit pro jednotlivé členy. Zde záleží spíše na vůli jednotlivých posuzovatelů a hodnotitelů, než na zobecnění, které by bylo platné obecně. Zkusme proto sami dosazovat do rovnice námi zvolená čísla:

f , od 1 do 10, od nejslabších po nejničivější katastrofy (např. pro svahové pohyby 2, pro povodně 6, pro zemětřesení 9),

P_A , posuzujeme-li např. sz. Čechy, pak by četnost předchozích zemětřesení byla dost vysoká, proto volíme hodnotu 5,

P_B , zemětřesení jsou tam však slabá (ve srovnání se seizmickými zónami), proto volíme číslo 2,

P_{CB} , hustota osídlení je značná, stavby nejsou antiseismické, sociální a politické poměry uspokojivé, nicméně číslo bude vyšší, zřejmě 5,

C , následky katastrofy v případě silného zemětřesení by mohly být značné, proto dosadíme číslo 6.

Pak by již následovala normální matematická operace a stanovení číselné hodnoty rizika.

Vysvětlení odborných a administrativních termínů, týkajících se přírodních katastrof a krizí

V zahraniční i naší literatuře i v různých právních dokumentech se terminologie týká především katastrof, pohrom a krizových situací, způsobených člověkem. Počítají se třeba havárie technického zařízení, ale i o teroristické útoky. Tuto filozofii a terminologii lze však aplikovat i na přírodní katastrofy, jež jsou způsobeny geologickými pochody. Podle důležitých právních dokumentů České republiky na nejvyšší úrovni (Ústava České republiky, Zákon č. 110/1998 Sb., Zákon č. 1/1993 Sb.) jsou v republice deklarovány životy a zdraví lidí, ochrana majetku a životního prostředí před přírodními katastrofami.

Na následujících řádcích jsou stručně vysvětleny termíny, používané Mezinárodní společností pro řízení nebezpečí TIEMS (The International Emergency Management Society). Ta byla založena ve Washingtonu v roce 1993 a naše republika je jejím členem. Názvy jsou uspořádány abecedně podle českých termínů, anglické termíny jsou uvedeny v závorce:

Bezpečnost (safety) – stav, při kterém je přijatelná pravděpodobnost vzniku újmy na chráněných zájmech. Je to základna, bez které není možný zdravý vývoj lidí, životního prostředí, technologie a celé lidské společnosti.

Bezpečný prostor (safety space) – prostor, ve kterém je bezpečnost na přijatelné úrovni (pod heslem „Evropa – bezpečný prostor“, po událostech v Madridu 2004, začal výzkumný projekt EU, financovaný miliardou euro).

Dopad (impact, effect, consequence) – nepříznivý účinek (působení) jevu v daném místě a čase na chráněné zájmy.

Hodnocení pohromy (disaster assessment), hodnocení ohrožení (hazard assessment), hodnocení rizik (risk assessment) – hodnocení, spojené s pohromou v daném území, místě, časovém intervalu jako pracovní metody rizikového inženýrství.

Hrozba (threat) – míra výskytu útoku (teroristického nebo vojenského) v daném místě. Lze aplikovat i na přírodní katastrofy. Je to pravděpodobnost, že vznikne nebo může vzniknout událost nebo soubor událostí, zcela odlišných od žádoucího (původně předpokládaného) stavu či vývoje chráněných zájmů z hlediska jejich celistvosti a funkce. Je určena schopností útočnicka (v našem případě charakterem katastrofy), zranitelností chráněných zájmů a úmyslem útočnicka.

Indikátor bezpečnosti (safety performance indicator) – veličina, která je mírou úrovně bezpečnosti v daném podsystemu/systemu. Obvykle se používají dva typy indikátorů bezpečnosti – průběžné jako míra trendu a cílové jako míra změny bezpečnosti pro aplikaci opatření za účelem zvýšení bezpečnosti.

Kritická infrastruktura (critical infrastructure) – fyzické, kybernetické a organizační (obslužné) systémy, které jsou nutné pro zajištění ochrany životů a zdraví lidí a majetku, minimálního chodu ekonomiky a správy státu.

Krizové řízení (risk management) – plánování, organizování, přidělování pracovních úkolů a kontrola zdrojů organizace tak, aby byly minimalizovány ztráty, škody, zranění nebo úmrtí vyvolané různými pohromami. Rizika se snižují snížením zranitelnosti objektů, populace, životního prostředí, státu, atd. (v této souvislosti se používá také pojem zmírňování dopadů, které při výskytu pohromy nelze odvrátit). Podle většiny technických norem a standardů se při plánování, projektování, výstavbě a provozu chráněných zájmů a snížení zranitelnosti provádí pro všechna rizika, jejichž pravděpodobnost je větší nebo se rovná 0,05.

Nebezpečí (danger) – stav, při kterém vzniká nebo může vzniknout újma na chráněných zájmech.

Nepřípustný dopad (inadmissible impact) – dopad, který může způsobit nebo způsobí škodu na jednom nebo více chráněných zájmech.

Nouzová situace (emergency situation) – stav, který vyvolá vznik pohromy. Obvykle se klasifikuje do 5 kategorií, které se pro zjednodušení vyjadřují i barvami (od nejnižší do nejvyšší – od žluté přes oranžovou do červené). V české legislativě se pro některé nouzové situace používá označení mimořádná událost.

Ohrožení danou pohromou (hazard) – soubor maximálních dopadů pohromy, které lze očekávat na daném místě za specifikovaný časový interval s pravděpodobností rovnou stanovené hodnotě. Podle technických norem je obvykle určeno velikostí pohromy, která se vyskytne s pravděpodobností větší než 0,05 s ohledem na četnostní rozdělení pro časový interval 100 let. Pro klasifikaci některých pohrom existují stupnice založené na jejich fyzikální velikosti i stupnice založené na ocenění jejich dopadů podle popisných znaků. Pro specifické účely se používají statistiky založené na četnostním rozložení pro 1 000 a 10 000 let.

Pohroma (disaster) – jev, který vede nebo může vést ke škodě na chráněných zájmech státu (tj. jev, který vede nebo může vést k dopadu na chráněné zájmy státu). V češtině jsou v definovaném smyslu používány pojmy „porucha, nehoda, pohroma, kalamita, katastrofa“, mezi kterými jsou významové rozdíly. Význačné světové a evropské finanční instituce používají pojem pohroma obvykle pro jevy s malým počtem obětí, je-li počet větší než 25, říká se mu katastrofa (catastrophe).

Proaktivní řízení (proactive management) – typ řízení, ve kterém provádíme opatření předem na odvrácení či alespoň zmírnění některých nežádoucích jevů a zajišťujeme připravenost na zvládnutí nežádoucích jevů.

Reaktivní řízení (reactive management) – typ řízení, ve kterém řešíme problémy, až když nastanou.

Riziko (risk) – míra výskytu nepříjemných dopadů, vyvolaných největší očekávanou pohromou v daném místě. Je to pravděpodobnost, že vznikne nebo může vzniknout událost nebo soubor událostí, které zcela změní žádoucí (původně předpokládaný) stav či vývoj chráněných zájmů z hlediska jejich celistvosti a funkce. Je určeno mírou (velikostí) ohrožení od daného jevu a mírou zranitelnosti chráněných zájmů v daném místě a v daném časovém intervalu, tj. je místně a časově specifické. Riziko je úměrné velikosti ohrožení, technické zranitelnosti a zranitelnosti vyvolané počtem lidí. V kvantitativní rizikové analýze je riziko pravděpodobnosti vzniku nežádoucích dopadů na chráněné zájmy.

Řízení bezpečnosti (safety management) – spočívá v plánování, organizování a přidělování pracovních úkolů a v kontrole využívání zdrojů organizace s cílem dosáhnout požadované úrovně bezpečnosti.

Řízení rizika (risk management) – plánování, organizování, přidělování pracovních úkolů a kontrola zdrojů organizace tak, aby byly minimalizovány ztráty, škody, zranění nebo úmrtí vyvolané různými pohromami. Rizika se snižují snížením zranitelnosti objektů, populace, životního prostředí, státu, atd. (v této souvislosti se používá také pojmu zmírňování dopadů, které při výskytu pohromy nelze odvrátit). Podle většiny technických norem a standardů se při plánování, projektování, výstavbě a provozu chráněných zájmů provádí snížení zranitelnosti pro všechna rizika, jejichž pravděpodobnost je větší nebo se rovná 0,05.

Scénář (model) pohromy (disaster scenario) – soubor izolovaných i propojených dopadů pohromy v prostoru i čase, který vyvolá nebo může vyvolat pohromu v určitém místě, tj. jedná se o časový sled události po vzniku pohromy v prostoru postiženém dopadem pohromy.

Škoda (harm/damage) – újma na životě a zdraví lidí, majetku, životním prostředí a lidské společnosti.

Zajištění bezpečnosti (security) – vytvoření pocitu bezpečí a jistoty lidí, zajištění veřejného blaha, trvalého rozvoje zdravého životního prostředí a spolehlivého provozu technologických zařízení.

Zranitelnost (vulnerability) – náchylnost ke vzniku škody.

Definice jsou převzaty z těchto prací:

Procházková, D., Říha J. et al. (2005): Krizové řízení. MVGŘ HZS ČR, 222 str., Praha.

Procházková, D. (2004): Metody hodnocení rizik pro potřeby krizového řízení a související problémy. In: Krizový management. Vojenská Akad. v Brně, 191 – 197, Brno.

Procházková, D. (2004): Komplexní pohled na problematiku bezpečnosti. In: Současnost a budoucnost krizového řízení, 37. Praha.

Kromě těchto základních názvů, odvozených z mezinárodně používané terminologie, definujeme ještě tyto:

Mimořádná událost – škodlivé působení sil a jevů vyvolaných činnostmi člověka, přírodními vlivy a také havárie, které ohrožují život, zdraví, majetek nebo životní prostředí státu a vyžadují provedení záchranných a likvidačních prací.

Event – (z latinského eventum, proto můžeme vyslovovat, tak jak se píše). Rychlá mimořádná událost značného rozsahu, která zanechala v ekologickém záznamu Země nějaké svědectví. Za eventy jsou považovány události biologické (vymírání taxonů, vznik nových taxonů), paleomagnetické (změna polarit geomagnetického pole), klimatické (zalednění, dezertifikace), vulkanické, seizmické, tektonické (změny v rychlosti rozpínání oceánského dna), sedimentologické (náhlé změny v ukládání sedimentů), geochemické (náhlé výchyly v chemickém složení hornin, změny izotopického složení), kosmické (dopady mimozemských těles s zřejmými následky).

Integrovaný záchranný systém – koordinovaný postup jeho složek (Hasičský záchranný sbor ČR, jednotky požární ochrany zařazené do plošného pokrytí administrativní jednotky, zdravotnická záchranná služba, Policie ČR a další vyčleněné složky) při přípravě na mimořádné události a při provádění záchranných a likvidačních prací. Základní složky Integrovaného záchranného systému zajišťují nepřetržitou pohotovost pro příjem ohlášení vzniku mimořádné události, její vyhodnocení a neodkladný zásah v místě mimořádné události.

Jako příklad mimořádných či krizových situací, na kterých lze ukázat funkčnost systému, poslouží nejlépe povodně, které se v republice vyskytují poměrně často a zároveň vyžadují zapojení velké části celostátního systému. Kromě Českého hydrometeorologického ústavu, který spolu s podniky jednotlivých povodí zodpovídá za předpovědní a hlášenou službu, hrají v celostátní ochraně před povodněmi důležitou roli povodňové orgány. Ve svém území působnosti odpovídají za organizaci povodňové ochrany a řídí, koordinují a kontrolují činnost ostatních účastníků ochrany před povodněmi. Není-li povodeň, jsou povodňovými orgány: obecní (městské) úřady, okresní úřady (nyní obecní úřady s rozšířenou působností) a magistráty statutárních měst, orgány kraje a na nejvyšší úrovni Ministerstvo životního prostředí. Po dobu povodně jsou povodňovými orgány povodňové komise obcí (obecní či městské), povodňové komise okresů (povodňové komise statutárních měst), povodňové komise ucelených povodí a Ústřední povodňová komise ČR.

V případě vyhlášení stavu nebezpečí a nouzového stavu (krizové stavy) přecházejí oprávnění a povinnosti povodňových orgánů na příslušné územní orgány krizového řízení podle zákona o krizovém řízení (krizové štáby). Při povodních lze využít složky Integrovaného záchranného systému ještě před vyhlášením krizového stavu (viz Obrusník, I., 2002: Úloha Českého hydrometeorologického ústavu v krizových situacích způsobených především přírodními vlivy. Počasí, krizové situace. MŽP a ČHMÚ, 3 – 7).

Terminologie je společná pro všechny druhy pohrom a katastrof, pro všechny se také používají termíny škoda, zranitelnost, dopad, ohrožení i riziko. Určité významové rozdíly jsou mezi pojmy ohrožení, riziko a dopad, mnohdy se však v češtině směšuje.

Klasifikace přírodních katastrof, způsobených geologickými činiteli

Přírodní katastrofy klasifikujeme především podle prostředí jejich vzniku. Je to celá široká škála od kosmu, přes atmosféru, hydrosféru, zemský povrch, prostředí nehluboko pod povrchem Země, celou zemskou kůru až do svrchního pláště. Řada katastrof se odehrává na rozhraní mezi těmito prostředími, jako mezi atmosférou a hydrosférou nebo hydrosférou a zemským povrchem. Druhy přírodních katastrof, prostředí jejich vzniku, mechanismus vzniku a stručně též jejich geologické účinky jsou vyjádřeny v tabulce 1.

Tabulka 1: Přírodní katastrofy podle jejich prostředí, původu a geologických vlivů

Jev	Prostředí vzniku	Mechanismus	Geologické účinky
pád mimo-zemského tělesa	kosmos	impakt, pád na zemský povrch	od nepatrných po globální, podle velikosti tělesa. Vyhloubení kráteru, drčení hornin, šoková metamorfóza, vyhození drtě a prachu, uvolnění plynů do atmosféry, případně vyvolání vlny cunami
tropické cyklóny	atmosféra	vyrovnávání teplot a tlaků, rotace Země	mohutná eroze, hlavně v přímořských oblastech, následná sedimentace. Změny reliéfu pobřeží
tornáda	atmosféra	vyrovnávání tlaků a teplot	lokální eroze a ukládání prachu s pískem
pískové a prachové bouře	atmosféra	proudění vzduchu, atmosférické poruchy, mohutná eroze povrchu	plošná eroze, sedimentace písku a prachu i na vzdálených místech
bouřlivé přílivy	na styku atmosféry s hydrosférou	zdvih mořské hladiny vlivem větru, případný vliv slapových sil	eroze pobřeží a přímoří, katastrofická sedimentace v přímořských sníženinách, změny reliéfu v oblastech delt, lagun a zálivů
cunami	mořská hydrosféra	přenesení pohybu dna při zemětřesení na vodní sloupec a vznik dlouhé vlny. Méně často při sopečném výbuchu a při podmořském skluzu či sesuvu na pobřeží	eroze v mělké příbřežní vodě, sedimentace v přímoří. Změny reliéfu pobřeží
povodeň	interakce atmosféra hydrosféra	zdvih hladiny řek vlivem nadměrných srážek vzhledem k možnostem retence povodí	vertikální i boční eroze říčních koryt. Transport velkého množství suspenze a její sedimentace na nivách a v ústích řek
svahové pohyby	zemský povrch	gravitace, podpořená nestabilitou svahu, často i zemětřesením	na souši pohyb a přemístění velkých objemů půd, zemin a hornin. V moři vznik turbiditních a jiných gravitačních proudů a sedimentace mocných sérií, např. flyše
zemětřesení	pod povrchem v zemské kůře i plášti	tektonické pohyby podél poruch, vyrovnávání napětí	pohyb bloků v různých směrech, změny reliéfu, změny říční sítě, spuštění svahových pohybů, ovlivnění magmatických procesů
sopečné výbuchy	v zemské kůře i plášti	tektonické pohyby, tavení hornin, vyrovnávání teplot a tlaků výstup magmatu na povrch	tvorba vulkanické krajiny s typickými formami reliéfu. Vznik lávových, pyroklastických i komplexních forem. Roznos pyroklastického materiálu do sedimentačních pánví. Vývrhy sopečného popelu do atmosféry. Po erozi obnažení podpovrchových těles

Naše tabulka I charakterizuje jednotlivé katastrofy. Je důležité, že se neprojeví a neohrožují lidstvo a majetek jednotlivě, ale je mezi nimi vzájemná genetická souvislost. Jedna katastrofa ovlivňuje druhou, někdy i třetí a mnohdy je doslova spustí. Nejužší vztah je mezi zemětřesením a cunami. Tropické cyklóny téměř vždy způsobí povodeň na souši a mnohdy i bouřlivé přílivy. Jen o něco slabší vztah je mezi zemětřeseními a sesuvy. Pak takový velký sesuv přehradí říční údolí a způsobí povodeň. Mezi zemětřesením a sopečnou činností je vztah oboustranný. Známe zemětřesení vyvolaná sopečnou činností a naopak sopečné výbuchy vyvolané rychlými tektonickými pohyby pod povrchem Země. Atmosférické poruchy vyvolávají zátopy i prachové bouře. Povodně jsou častou příčinou sesuvů.

Pozn. To, že píšeme s cunami s c není chyba, ale záměr. Cunami znamená japonsky „velká vlna v přístavu“. Jak jsme konzultovali s japanology, japonština má své c, proto není nutné transkribovat přes angličtinu tsunami, jak je u nás zvykem a jak se toho dříve dopouštěl i jeden z autorů (Angličané by četli cunami podobně jako kjunami, proto z jejich hlediska ta transkripce nutná je). Na naše naléhání formu cunami přijali již např. National Geographic, česká mutace, i Česká televize.

Všechny přírodní katastrofy mají své dozvuky. Jsou to druhotné účinky, související s obyvateli, ekonomikou, infrastrukturou a životním prostředím.

Nejsou to již procesy přírodní, jelikož se na nich podílí lidská činnost, nicméně přírodní katastrofou ovlivněny jsou. Sled takových druhotných účinků bývá tento:

Zemětřesení – požáry, výbuchy plynu, přerušení komunikací.

Zemětřesení – sesuvy, protržení přehradních hrází, povodně.

Sesuvy – přerušení komunikací, protržení nebo přelití přehradních hrází.

Sopečné výbuchy – zničení sídlišť, úrody, otrávení studní, epidemie.

Povodně – poškození infrastruktury, znehodnocení podzemních vod, otrávení studní, epidemie.

Zemětřesení

Z hlediska celé lidské civilizace je zemětřesení nejhroživější přírodní katastrofou. Podle počtu obětí, podle velikosti zasaženého území, podle škod i podle problémů předpovědi i podle obtížnosti ochrany. K obavám před zemětřesením přispívá i psychologický faktor. Jeho zdroje pod povrchem lidé nevidí, na rozdíl od sopky či mraků přinášejících zkázu v podobě uragánu. Z hlediska České republiky bychom jej zařadili až daleko za povodně, svaňové pohyby, i za další pochody, které již řadíme mezi rizika.

Celá polovina lidstva však žije v seizmicky aktivních oblastech, tedy tam, kde ničivá zemětřesení ohrožují životy a majetek. Povrch Země je proťat seizmickými zónami, které prostupují všechny pevniny i oceány.

Epicentra zemětřesení jsou rozložena na zemském povrchu velmi nerovnoměrně, převážně tvoří pásy a linie. Tyto úzké zóny jsou protaženy podél hranic mezi litosférickými deskami. Desky se buď rozestupují nebo srážejí nebo pohybují podél sebe. Pohyb není souvislý, ale trhavý, episodický a každý náhlý pohyb může znamenat zemětřesení.

Pohybují-li se desky od sebe, vznikají riftové zóny, které jsou na pevnině zárodkem budoucího oceánu, na mořském dně osou, podle níž se dno rozpíná. Pokud na sebe desky narážejí, často se podsouvají jedna pod druhou, strhává do hloubky část povrchu a tvoří se podmořské příkopy. I zde je pohyb episodický. Pohybují-li se desky podél sebe, třou se o sebe, napřed se energie kumuluje, pak ji náhlý pohyb uvolní.

Zemětřesení nevznikají ovšem jen podél hranic mezi deskami, jsou i zemětřesení „vnitrodesková“, vázaná na poruchy v zemské kůře uvnitř desek. Jsou i zemětřesení vulkanického původu, doprovázející sopečné výbuchy.

Společným jmenovatelem vzniku zemětřesení je tedy hromadění napětí, které se rychle uvolňuje. Ohnisko neboli hypocentrum zemětřesení je místo, kde zemětřesení vzniká a odkud se šíří zemětřesné vlny. Epicentrum je místo na zemském povrchu nejbližší k ohnisku. Síla zemětřesení se vypočítává podle záznamů na seizmografech na seizmických stanicích. Síla zemětřesení v ohnisku se klasifikuje veličinou magnitudo. Je to velikost zemětře-

sení podle Richterovy stupnice. Tato stupnice má logaritmický charakter, což znamená, že zvýší-li se magnitudo o jednotku, je jeho amplituda na záznamu 10krát větší a uvolněná energie 32krát větší. Magnitudo je jednotkou objektivní, měřitelnou a srovnatelnou. Každé zemětřesení charakterizujeme jedinou hodnotou magnituda.

Tabulka 2: Richterova škála, vyjadřující sílu zemětřesení (M – magnitudo)

M	Charakter
0	nejslabší zemětřesení, které lze zachytit na přístrojích
2,5 – 3,0	lze pocítit v blízkosti epicentra. Každý rok jsou statisíce takových zemětřesení
4,5	blízko epicentra může dojít k menším škodám
5	odpovídá přibližně energii výbuchu první atomové bomby
6	může způsobit dosti značné škody, každým rokem je jich zaznamenána přibližně stovka
7	nad touto hranicí jde o zemětřesení velká, ničivá
8	sanfranciské zemětřesení v Kalifornii v roce 1906
8,4	aljašské zemětřesení 1964, asámské v Indii 1950
8,6	uvolňuje energii třímilionkrát větší než měl výbuch první atomové bomby
8,9	lisabonské zemětřesení 1755 (?)
9,0	indonéské zemětřesení v Indickém oceánu, prosinec 2004

Na rozdíl od velikosti (síly) zemětřesení, vyjadřované jednotkou M (magnitudem), jež je přesně definovaná a objektivní, vyjadřujeme účinky zemětřesení jako makroseizmickou intenzitu se symbolem I, což je hodnota do jisté míry subjektivní. Magnitudo má jednoznačnou hodnotu pro každé zemětřesení, intenzita se však mění podle toho, kde pozorujeme jeho účinky. Většinou klesá se vzdáleností od epicentra. Na mapě vyjadřujeme intenzitu zemětřesení pomocí izoseist, což jsou čáry, spojující místa o stejné intenzitě nebo, jinak vyjádřeno, čáry, které ohraničují oblasti, v nichž otřesy přesáhly určitou intenzitu.

Pro klasifikaci se dříve v Evropě používala dvanáctistupňová Mercalliho stupnice, kterou později nahradila stupnice MSK-64. MSK jsou iniciály příjmení jejích autorů, Rusa Medvěděva, Němce Sponheuera a Čecha Kárníka. Ve zjednodušené formě charakterizujeme tuto stupnici v tabulce 3.

Tabulka 3: Zjednodušená charakteristika stupňů intenzity zemětřesení – Podle stupnice MSK-64

Stupeň	Stručná charakteristika
I	zaznamenají jen seizmografy
II	mohou pocítit jen některé osoby v naprostém klidu
III	pocítí část obyvatelstva
IV	velká část obyvatelstva pocítí; dojem je jako když kolem přejede těžký nákladní vůz
V	lidé se probouzejí, skřípe nábytek a veřeje
VI	pocítí všichni obyvatelé, tvoří se trhliny v omítce, mírné škody na budovách, může vzniknout mírná panika
VII	všeobecná panika, trhliny v omítce, ve stěnách a komínech
VIII	řítí se komíny, římsy, štíty, tvoří se velké trhliny ve zdech
IX	řítí se stěny a střechy budov
X	mnoho budov se řítí, objevují se trhliny v zemi
XI	velké trhliny v zemi, sesuvy na svazích

Dnes se účinky zemětřesení klasifikují podle Evropské makroseizmické stupnice EMS-98, stupnice MSK-64 se však stále užívá.

Příklad vyjádření intenzity zemětřesení v mapě je konstrukce izoseist zemětřeseného roje z prosince roku 1985 v západních Čechách (zpracoval Geofyzikální ústav Akademie věd České republiky). Seismické stanice vypočítaly magnitudo tohoto zemětřesení na 4,6, intenzita v epicentru přesáhla 7. Např. v Chebu intenzita přesáhla hodnotu 6, v Plzni, Praze, Českých Budějovicích a Ústí nad Labem byla intenzita 4. Podobné mapy se sestavují podle vyhodnocení dotazníků, vyplněných těmi, kteří zemětřesení pocítí. Již několik desetiletí zpracovává Geofyzikální ústav Akademie věd České republiky makroseismická data a rozesílá zmíněné dotazníky. Mapy izoseist jsou důležitým podkladem pro určení seismického rizika.

Zemětřesení se obvykle dělí na mělká, střední a hlubinná. Hranice mezi nimi nejsou sjednoceny, mezi mělkými a středními se klade do 55, 60 nebo 70 km, mezi středními a hlubinnými od 240 km do 300 km. Český seismolog světového jména Vít Kárník přihlížel spíše ke geologickému složení svrchních zemských vrstev a rozdělil zemětřesení podle hloubky ohniska takto (tabulka 4):

Tabulka 4: Rozdělení zemětřesení podle hloubky ohniska (podle V. Kárníka)

Hloubka ohniska (h)	Druh zemětřesení
1 – 4 km	mělké zemětřesení s ohniskem ve svrchní sedimentární vrstvě
5 – 50 km	zemětřesení s ohniskem v různých horninách zemské kůry
60 – 300 km	přechodné zemětřesení s ohniskem v nejsvrchnějším zemském pláští
více než 300 km	zemětřesení s hlubokými ohnisky ve svrchním pláští

Seismolog Vít Kárník sestavil podle svého katalogu zemětřesení z let 1901 – 1955 diagram, znázorňující četnost zemětřesení s různě hlubokými ohnisky. Nejvíce zemětřesení mělo hloubku mezi 5 a 10 km, s rostoucí hloubkou se četnost zmenšuje. Mezi hloubkou 50 a 100 km bylo ohnisek málo, ale v hloubkách 100 – 110 km a 150 – 160 km ohnisek mírně přibývá. Hloubka ohniska může být i nulová, což znamená, že je na zemském povrchu a že se epicentrum rovná ohnisku. Mělká zemětřesení jsou vázána na různé poruchy v zemské kůře, hluboká jsou převážně tam, kde se podsunuje jedna litosférická deska pod druhou, hlavně u tzv. ostrovních oblouků (Japonsko, Filipíny, Aleuty, Indonésie apod.). I v Evropě dochází k takovému procesu, neboť africká deska se pohybuje k severu a podsunuje pod evropskou. Proto ve Středomoří, hlavně v Tyrhénském, Jónském a Egejském moři, bývají ohniska zemětřesení hluboko pod povrchem.

K charakteristice rizika zemětřesení v České republice použijeme údaje Geofyzikálního ústavu AVČR, který publikuje přehled všech zemětřesení a monitoruje seismickou činnost.

Z geologického hlediska tvoří větší část České republiky stabilní Český masiv a proto je zemětřesné riziko poměrně malé. Poněkud větší riziko je v jv. části republiky, která patří do Karpatské soustavy. Právě tam se odehrálo opravdu ničivé zemětřesení, které zasáhlo území bývalého Československa dávno, 28. června 1763 a poničilo jihoslovenské Komárno. Podle odhadů dosáhly otřesy makroseismické intenzity 8 – 9. Zahynulo 63 lidí, 102 bylo zraněno. Poškozeno bylo 7 kostelů a 273 dalších budov, zřítilo se několik věží.

Podle katalogu zemětřesení se otřesy soustřeďují hlavně na periferní části Českého masivu, zřejmě pod vlivem tlaků Alp a Karpat při doznívající alpínské horotvorné činnosti. Epicentra zemětřesení, které lze na našem území pocítit, jsou hlavně na území alpských horstev Itálie a Rakouska, v Pannonské pánvi v Maďarsku, v Západních a Východních Karpatech (Slovensko, resp. Rumunsko) a v jv. Německu (Hornorýnský prolom, Švábský Alb, Francký Jura).

U našich starých zemětřesení, o nichž máme historické záznamy, lze těžko rozhodnout, měla-li epicentra na našem území nebo někde jinde. S jistotou můžeme říci, že velké zemětřesení za vlády Karla IV, v roce 1348, kdy „mnozí lidé na nohou nemohli stát a stavení se bořila“, bylo odezvou na východoalpské otřesy, které mimo jiné ničily rakouské město Villach. Podle Hájkovy kroniky (pozor na věrohodnost !) byla prý Praha „neblaze postižena“ v roce 1036 a mnoho škod nadělala pohroma v roce 1117. Silné zemětřesení pak prý bylo v Čechách 4. 5. 1201, nato v roce 1230, 1329 a všechno vyvrcholilo zřejmě prokazaným zemětřesením v roce 1348. Podle zpráv místních kronik došlo k velkému zemětřesení v roce 1560 (podle Grunthala v roce 1561), kdy se otřáslo Slezsko, Morava a „všechny Rakousy včetně Vídně“. Zmíněný autor klade epicentrum k Budapešti. Další zřejmě potvrzená země-

třesení jsou z let 1656, 1786 a 1788. Záznamy jsou ještě z let 1810 a hlavně 1872, kdy bylo epicentrum v Německu v okolí Gery. Takové záznamy o otřesech jsou z mnoha míst v Čechách.

Dodnes je nejrizikovějším územím s vlastní seizmickou aktivitou Kraslicko v západních Čechách. Vyskytují se tam zemětřesené roje, což jsou série otřesů trvající až několik dní. Série vrcholí silnějším zemětřesením, po němž aktivita doznívá. Takové roje se opakují v intervalech několik desetiletí. Ve 20. století byly na Kraslicku zaznamenány významnější roje v roce 1908, na přelomu let 1936 – 1937 a nověji v roce 1985. Toto zemětřesení pocítilo celé území Čech. Ohnisko bylo v hloubce 10 km a nejsilněji se projevilo v obcích Skalná, Dolní Žandov, Nový Kostel a Plesná. Poškozeny byly i domy v Chebu, Františkových Lázních a Kynšperku. Intenzita těchto otřesů dosáhla stupně 7. Zdrojem těchto západočeských zemětřesení je poměrná nestabilita území vlivem doznívání činnosti podkrušnohorského (oherského) riftu, tj. prolomu s výraznou tektonickou a vulkanickou aktivitou v třetihorách. Teplota tam roste do hloubky rychleji než jinde na našem území a doznívání sopečné činnosti se projevuje výstupem teplých vod s oxidem uhličitým.

S možností otřesů s intenzitou až 7 stupňů je nutno počítat také v sv. Čechách podél hronovsko-poříčského zlomu s epicentry v údolí horního toku Úpy. K silnějšímu otřesu o intenzitě 7 tam došlo naposledy v roce 1901.

Občas se otřesy s intenzitou do 9. stupně objevují i v Českém lese (Přimda v roce 1902) a ve Slezsku (Opava v roce 1931). Ve východní části Krušných hor bylo zaznamenáno zemětřesení 6. stupně intenzity u Duchcova v roce 1784. Ojedinelé slabší otřesy do intenzity stupně 5 byly v historické době pozorovány ve středních a jižních Čechách, na Šumavě a na Českomoravské vrchovině.

Při seizmickém monitorování okolí stavebního místa pro jadernou elektrárnu Temelín byla zjištěna mírná aktivita do 3 – 4 stupně intenzity. Podle některých názorů mohla být ovlivněna naplněním nádrže Orlické přehrady.

Všechny uvedené příklady seizmické činnosti odpovídají otřesům, majícím epicentra na našem území. Jinak však na naše území zasahuje vliv východoalpských zemětřesení, vliv západokarpatských zemětřesení s ohnisky na Slovensku i zemětřesení německých. Seizmologové charakterizovali toto seizmické ohrožení do 5. stupně, pro jižní Čechy a Moravy se počítá se 6. stupněm.

Přiložená mapa ukazuje, jaké lze očekávat podle dosavadních znalostí maximální účinky zemětřesení na území České a Slovenské republiky. Na mapě jsou též vyznačena města s více než 50 000 obyvateli a v seznamu je připojena maximální intenzita zemětřesení (podle MSK) jakou lze v místě očekávat:

Stupeň 7: Frýdek-Místek, Havířov, Karviná, Ostrava.

Stupeň 6: Brno, České Budějovice, Hradec Králové, Jihlava, Liberec, Most, Olomouc, Opava, Prostějov, Přerov, Teplice, Zlín.

Stupeň 5: Chomutov, Děčín, Karlovy Vary, Kladno, Pardubice, Plzeň, Praha, Ústí nad Labem.

Nezmínili jsme se ještě o zemětřeseních, na nichž se podílí svou činností člověk. Říká se jim zemětřesení indukovaná, antropogenní i řítivá. Jsou způsobena pohyby hmot v důlních pracích, hlavně propadnutím stropu chodeb do prázdných prostorů. Takové otřesy jsou velmi hojné zejména v ostravsko-karvinském uhelném revíru.

Monitorování zemětřesené činnosti

Naše první seizmická stanice byla zřízena v roce 1908 ve sklepě gymnasia v Chebu. Tehdy na světě neexistovalo více než 40 stanic. Byla schopna zaznamenat velká světová zemětřesení, ne však lokální otřesy. Dnes se na monitorování zemětřesení podílejí Geofyzikální ústav AVČR v Praze, Ústav fyziky Země Masarykovy univerzity v Brně, Ústav struktury a mechaniky hornin AVČR v Praze a Katedra geofyziky matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy v Praze. Seizmické stanice těchto institucí jsou v obcích Nový Kostel, Kopaniny, Kraslice, Skalná, Lazy, Kašperské Hory, Trojmezí, Luby, Počátky, Jindřichovice, Bernov a Vackovec. Naměřené údaje se vyhodnocují v Geofyzikálním ústavu AVČR v Praze a Ústavu Fyziky Země MU v Brně.

Výsledkem jejich bohaté činnosti je mimo jiné soupis zemětřesení, která byla pocítěna v České republice. V naší tabulce 5 připojujeme výtah z tohoto soupisu a vybíráme ty, jejichž intenzita byla alespoň 4,0.

Tabulka 5: Zemětřesení pocítěná v České republice. Od roku 1991 do prosince 2004 s údaji o epicentru, hloubce ohniska, magnitudu, místu pozorování a vzniku

Datum	Zdrojová oblast	Hloubka km	Magnitudo	Max. intenzita	Vznik
24.3.1991	Vogtland		1,9	4 – 5	
25.3.1991	Vogtland		2,0	4	
2.5.1991	Vídeň		2,8	4	
19.5.1991	Vogtland		2,6	4	
13.4.1992	Roermond, Nizozemí	21	5,3	4	
22.4.1992	Hronov		4	4 – 5	
16.6.1993	Opava			5	
4.1.1994	Ostrava	1		4 – 5	důlní otřes
26.2.1994	Lubin, Polsko	1	4,3	4	důlní otřes
17.3.1995	Příbram		1,3	4	důlní třes
17.1.1997	Kraslice	8,8	3,1	4	
1.6.1997	Kraslice	5		4	
18.5.1998	Lubin, Polsko	1	3,2	4	důlní otřes
8.1.2000	Ostrava	10	3,3	4	důlní otřes
8.9.2000	Nový Kostel	10	3,2	4	roj
17.9.2000	Nový Kostel	11	2,7	4	roj
2.10.2000	Klučenice	0	0,1	4	
15.10.2000	Nový Kostel	10	2,9	4	roj
15.10.2000	Nový Kostel	10	3,0	5	roj
23.10.2000	Nový Kostel	10	3,0	4	roj
6.11.2000	Nový Kostel	10	3,4	4 – 5	roj
13.6.2000	Ostravsko	0	3,7	4	důlní otřes
11.3.2004	Ostravsko	0	3,3	4	důlní otřes

Ochrana a předpověď

I když zemětřesení na našem území nemají katastrofický charakter, přesto je na ochranu před otřesy pamatováno normou ČSN 730036 „Seizmická zatížení staveb“. Zemětřesení s magnitudem 4,6 a větším může způsobit zřícení jednoduchých staveb a oběti na životech. I když se naše domy neřítí, je zde řada určitých rizik: řízení uvolněných předmětů, opadávání omítky, vznik trhlin ve zděných příčkách, pád tašek ze střech, případně i řízení komínů, porušení rozvodu plynu a elektřiny. Krátce a jasně řečeno, naše zemětřesení nejsou důvodem ke strachu a panice, ale hlavně ta západočeská je nutno brát docela vážně!

Jistě, že náš přístup k zemětřesení je jiný než v silně seizmických zemích, jako v Japonsku nebo americké Kalifornii. Neumíme si představit, že by se v našich školách vyučovalo o zemětřesné prevenci, nebo že by se v našich drogeriích prodávaly balíčky přežití jako v Tokiu. Instruktažní pořady v televizi o chování při zemětřesení také neznáme.

Naši turisté i pracovníci v zahraničí v zemích se silnou seizmicitou však se zemětřesením do styku přicházejí a musejí se tak přizpůsobit místním pravidlům. Na jiném místě vyjmenováváme zemětřesná rizika v zemích, které jsou častým cílem. Není proto vůbec na závadu, když se i naši občané, zvyklí z Česka na malé seizmické riziko, uvědomí několik základních pravidel, jak se při zemětřesení a po něm chovat.

Otřesy půdy mohou trvat od několika sekund do několika minut, po silném otřesu mohou přijít slabší dotřesy.

Při zemětřesení: vyhledejte bezpečné místo, jako jsou dveře v nosné zdi, místo pod pevným stolem i postelí. Nevybíhejte v panice z domu, hlavně nesedejte do výtahu. Pokud vás otřesy zastihnou v něm, v nejbližším patře z něj utečte. Pokud vás otřesy zastihnou na schodech, sedněte si, držte se zábradlí a chraňte si hlavu. Nejbezpečnější je volný prostor daleko od budov, třeba městský park. Nezůstávejte v úzkých ulicích a držte se dále od elektrického vedení. Jedete-li autem, zastavte na otevřeném prostranství a zůstaňte ve voze.

Po zemětřesení: klid, klid, klid, poskytněte pomoc raněným, sledujte instrukce v rozhlase, nepoužívejte otevřený oheň. Nesedejte do výtahu, používejte plyn a zapínejte elektrinu až poté, co se přesvědčíte, že jsou v pořádku. Opatrně při opuštění domu, nepřibližujte se zbytečně ke zdem, nechodte bosí, všude je plno střepů. A co je po současných zkušenostech důležité, nechodit k moři, může přijít cunami.

Asi před 150 lety prohlásil Johann Wolfgang von Goethe „se zemětřesením se nedá hádat“. Tehdy pravdu měl, dnes se s ním hádat zkusíme, ovšem jen se střídavými úspěchy. Nikdo nepochybuje, jak důležitá je předpověď zemětřesení. Podnětem UNESCO byla již v roce 1965 založena pracovní skupina poději nazvaná International Commission for Earthquake Prediction (Mezinárodní komise pro předpověď zemětřesení). Na toto téma bylo publikováno mnoho prací a Japonec T. Rikitake napsal v roce 1976 tlustou knihu. Země s největším seizmickým rizikem jsou na prvních místech ve výzkumu předpovědi. V Japonsku žije více než polovina obyvatelstva na silně ohroženém území, v Číně asi třetina, ve Spojených státech sedmina, v bývalých sovětských středoasijských republikách asi čtvrtina. Několik úspěšných předpovědí, jako čínská z roku 1975, kazašská z roku 1978 i japonská z téhož roku jsou sice velkým úspěchem, ale většina velkých otřesů předpověděna nebyla. Existuje celá řada znaků, které byly studovány jako možná východiska pro předpovědi. Z nich jsou zřejmě nejdůležitější tyto:

1. Statistika, výpočet pravděpodobnosti otřesů podle historických dat.
2. Metoda rozpoznání těch úseků v seizmických zónách, kde dlouho nedošlo k otřesům, takže se v nich hromadí energie.
3. Sledování zrychlených pohybů zemského povrchu.
4. Sledování změn v poměru rychlostí podélných a příčných seizmických vln.
5. Změny v magnetickém poli a elektrické vodivosti hornin.
6. Změny ve složení plynů unikajících ze země.
7. Registrace předtřesů.
8. Sledování pohybu ohnisek u starších zemětřesení v čase a prostoru.
9. Studium chování zvířat.

Podrobnostmi o jednotlivých metodách se zde nemůžeme zabývat a odkazujeme čtenáře na příslušnou literaturu.

Vulkanické riziko v České republice?

Ze světového hlediska je sopečnou činností ohroženo přibližně desetkrát méně obyvatel než zemětřesením. Asi 200 milionů lidí žije v nebezpečné blízkosti činných vulkánů. Podle statistiky UNESCO zahynulo za posledních 500 let na 200 000 lidí přímo sopečnými výbuchy nebo na jejich následky. Podle jiné statistiky, vypracované Vulkanologickou komisí, měla sopečná činnost za posledních 400 let na svědomí 175 000 obětí.

Odpověď na otázku, zda v naší republice můžeme vulkanismus považovat za riziko, je zdánlivě jednoduchá, obecně se za riziko nepovažuje a nepovažoval. S takovou jednoznačnou odpovědí se zde však spokojit nemůžeme a musíme ji zdůvodnit z hlediska geologického vývoje.

Nebudeme zde popisovat příčiny sopečné činnosti, ani její mechanismus, pouze ta nejzákladnější fakta nesmíme opominout. Činná sopka je ta, o které víme, že v historické době soptila. Pokud taková historická zkušenost u sopky není, jde o sopku vyhaslou. Upozorněme ještě na to, že sopečná činnost je termín širšího významu než sopka. Sopka musí být hora nebo aspoň kopec, prostě vyvýšenina. K sopečné činnosti však může dojít, i když se země rozestoupí a z pukliny se vylévá láva. Sopka to není, ale sopečná činnost ano. Sopka může vzniknout teprve později, až se nahromadí tolik lávy, že vznikne kopec. Vulkán je synonymem sopky, vulkanická činnost sopečné činnosti. Vulkanit je název pro výlevnou magmatickou horninu.

U nás máme pouze sopky vyhaslé, zbyly po nich vulkanické horniny a jejich tufy. V geologické historii však u nás byla tak silná sopečná činnost, že naše krajina připomínala Island nebo Havaj. Na povrch se vylévala láva, z kráterů létaly sopečné pumy, lapilli a popel a do výšky rostly sopky. Ty byly spojeny přírodními kanály s magmatickými krby, kde tuhlo magma na hlubinné vyvržené horniny – plutonity. I když známe sopečnou činnost z prekambria, prvohor i druhohor, největší stopy zanechaly u nás vulkanity třetihorní. Zklameme vás však, ani Říp, ani Milešovka, ani další desítky krásných kuželů a kup Českého středohoří, nejsou sopkami. Jsou to zbytky těles, které utuhly pod povrchem a později byly erozí obnaženy. Pokud byly nad nimi opravdové sopky, eroze je dávno zničila.

Nemusíme se zabývat vulkanickou činností ve starších obdobích geologické historie, i když mnohdy byla velmi mohutná. Několik odstavců věnujeme vulkanismu v třetihorách a čtvrtohorách a tak zodpovíme na otázku, zda je rizikem dodnes.

Mladé vulkanity, zvané též neovulkanity se u nás vyskytují v západních Čechách, v Krušných horách, v Doupovských horách, v Mostecké (neboli Severočeské) pánvi, v Českém středohoří, v české křídové pánvi od státních hranic na severu až ke Kladnu a Pardubicím, v západosudetské oblasti v okolí Liberce a Varndsdorfu, na Moravě pak v Nížkém Jeseníku i s Opavskem a Ostravskem. Pozoruhodná a zcela logická je závislost vulkanismu na poruchách v zemské kůře. Největší akumulace vulkanitů jsou totiž na oherském riftu, což je vulkanická a seizmická struktura podél řeky Ohře. Patří sem Doupovské hory a České středohoří. Doupovské hory, které skutečně byly v třetihorách mohutnou sopkou, se vytvořily tam, kde se kříží oherský rift s jáchymovským zlomem. České středohoří je též uvnitř této zóny a je omezeno litoměřickým a krušnohorským zlomem. A taková zákonitost platí i pro ostatní výskyty vulkanitů.

Stáří sopečné činnosti posuzujeme podle vztahů láv a tufů k okolním horninám a čím dále tím více podle mnoha radiometrických údajů. Podle nich spadá nejintenzivnější fáze do období před 35 a 40 miliony let a mezi 20 a 30 miliony let. Nejmladší sopky jsou při chebském zlomu. Je to Železná hůrka v Hrozňatovské pahorkatině u obce Lipová se struskami a tufy starými 170 000 – 400 000 a slavnější Komorní hůrka v Chebské pánvi u Františkových lázní, tvořená tufy s lapilli, proraženými žilou bazaltové horniny. Ta je stará 450 000 milionů let, podle starších údajů to může být i 300 000 let. Dále na jihu u Horní Břízy je též čtvrtohorní Příšovská homolka. Na hranicích třetihor a čtvrtohor, v období zhruba před 2 miliony let, soptily v Nížkém Jeseníku Uhlířský vrch, Venušina sopka, Velký Roudný i Malý Roudný. Lávový proud Chříbského lesa, jenž se vyléval z Velkého Roudného, je 5,5 km dlouhý, 900 m široký a 57 m mocný. Podle radiometrického datování je jeho spodní část stará 1,46 milionů let a svrchní část 1,28 milionu let. Jde zřejmě o několik proudů, odpovídajících dlouhé sopeční činnosti po celých 180 tisíc let.

O každé sopce, která v historické době explodovala, musíme předpokládat, že by mohla vybuchnout znovu. „Historická doba“ ovšem není pro všechny části světa stejně dlouhá. V Mezopotámii je to nejméně posledních 5000 let, v Antarktidě jen několik desítek let. A nejdůležitější otázka zní: „Jak dlouho musí sopka spát, abychom ji mohli pokládat za vyhaslou?“ Vulkanologové se shodují na tom, že pokud nesoptí poslední milion nebo 2 miliony let, už nikdy soptit nebude. Pokud by to tak bylo, a nemáme důvod o takových závěrech zkušených expertů pochybovat, pak bychom mohli ještě uvažovat, že by se naše Komorní hůrka a jiné čtvrtohorní vulkány ještě mohly probudit. Stáří jejich láv a vyvrženin totiž ještě zapadá do tohoto časového intervalu. Ve skutečnosti však to s rizikem nebude tak žhavé. Magmatický krb, zásobující vulkány lávou, může vyhasnout daleko dříve než za milion let, zřejmě k tomu u našich sopek došlo. Postvulkanické projevy totiž slábnou, oxidu uhličitého uniká méně a méně, teplé vody chladnou, výstup tepla na povrch je nižší a nižší. Naše rizika proto jsou zcela v něčem jiném:

Jak ochránit přírodní zdroje, jimž vděčíme za vulkanismus a jak zachovat jedinečné lokality, na nichž můžeme jeho projevy pozorovat.

Svahové pohyby

Název geologického procesu „svahové pohyby“ je dostatečně výstižný a srozumitelný, vyplývá z něho, že jde o pohyb hmot ze svahu. Dojde k němu v případě, že příroda či člověk poruší stabilitu svahu a síly, držící pohromadě půdu, suť nebo horninu, začnou být slabší než gravitace. Svahovým pohybům říkáme též obecně pohyby gravitační. Podle jejich charakteru mají různá specifická pojmenování. Nejčastěji se užívá termín sesuv, což je „náhlý pohyb materiálu, při němž jsou sesouvající se hmoty odděleny od pevného podloží zřetelnou smykovou plochou“. Svahové pohyby se liší rychlostí i měřítkem. Půdy se někdy pohybují ze svahu pomalu, doslova se plíží, proto se takovému pohybu říká pohyb plíživý nebo plouživý. Naopak, někdy se masy hornin řítí ze svahu rychlostí expresu.

Svahové pohyby jsou v naší republice spolu s říčními povodněmi nejnebezpečnějšími přírodními katastrofami, často jsou dokonce obě taková rizika na sebe vázána. K lidským obětem svahových pohybů u nás bohudíky obvykle nedochází, avšak hospodářské škody přesahují desítky, ba stovky miliónů korun. Z celosvětového hlediska jsou však svahové pohyby strašným nebezpečím pro obyvatele mnoha zemí, známy jsou fotografie a televizní záznamy bahnotoků, ničících lidská sídliště i kempingové tábory rekreatantů.

Různé druhy svahových pohybů ničí obydlí a ohrožují sídliště. Ničí zemědělské pozemky a ztěžují jejich obdělávání, ohrožují provoz lomů a těžbu nerostných surovin. Přerušují komunikace, tunelové stavby, potrubí, telefonní a elektrická vedení. Podmořské skluzy přetrhnou telegrafní kabely na dně. Sesuvy ohrožují vodohospodářské stavby, hlavně přehrady. Navíc mohou zahradit údolí, vytvářet dočasná jezera a způsobit záplavy. Velké sesuvy mohou způsobit ničivé vlny v jezerech a zátokách.

Ani vyspělé země nejsou bezpečné před sesuvy, zvláště ty s velehorami a horami. Jedním z klasiků a největších znalců svahových pohybů byl švýcarský geolog profesor Albert Heim a ten vypočetl, že pouze v jeho vlasti zahubily svahové pohyby do roku 1930 více než 5000 obyvatel. Prodloužíme-li tento časový úsek dodnes a připočteme-li i obrovité čínské katastrofy, kdy se po zemětřesení sesuly sprašové terény, nebude počet obětí svahových pohybů nižší než půl milionu.

V České republice je dlouhá tradice sledování a výzkumu svahových pohybů. Již od první poloviny 20. století patřil inženýrský geolog profesor Quido Záruba k nejlepším světovým odborníkům a jeho kniha „Sesuvy a zabezpečování svahů“, kterou napsal v roce 1969 v profesorem V. Menclem, patří dodnes k základním příručkám. Ostatně, v tomtéž roce vyšel ve spolupráci se zahraničním nakladatelstvím i její anglický překlad.

Česká geologická služba – Geofond vytvořil a neustále doplňuje bázi dat svahových pohybů v České republice. Na počátku této akce byla jejich evidence v letech 1961 – 1963, jejíž nutnost vyplynula z katastrofálních následků největšího svahového pohybu v tehdejší Československu u slovenské Handlové na přelomu let 1960 a 1961. Od roku 1976 jsou v Geofondu shromažďovány, klasifikovány a informačně zpracovávány dostupné prameny o starších i současných svahových pohybech.

Základní dělení svahových pohybů je podle jejich rychlosti. Většinou přijímáme klasifikaci následující:

Slovní vyjádření rychlosti pohybu	Rychlost pohybu
mimořádně pomalý, plouživý	0 – 0,6 m za rok
velmi pomalý, plouživý	0,6 – 1,5 m za rok
pomalý	1,5 m za rok až 1,5 m za měsíc
středně rychlý	1,5 m za měsíc až 1,5 m za den
rychlý	1,5 m za den až 0,3 m za minutu
velmi rychlý	0,3 m za minutu až 3 m za sekundu
mimořádně rychlý	větší než 3 m za sekundu

Podle okolností mají svahové pohyby různá pojmenování, sesuvy v užším slova smyslu, skalní řízení, bahnotoky, kamenotoky, sněhokamenité laviny, plíživé (i plouzivé) pohyby půdy a sutí, soliflukce a geliflukce. Srovnáme-li tato pojmenování s naší tabulkou rychlostí pohybu, je jasné, že skalní řízení, nebo sněhokamenité laviny patří do pohybů mimořádně rychlých a naopak plíživé pohyby půd do pohybů mimořádně pomalých.

Velká část území České republiky je tvořena svahy, ať již jsou to pahorkatiny, vrchoviny nebo hornatiny. Některé svahy jsou stabilní, jiné z různých důvodů nestabilní. Nestabilní se stanou, poruší-li se (např. zářezem komunikace nebo podemletím vodou) nebo zatíží-li se svah boční erozí vodního toku nebo ji podemele ať už přírodní či lidskou činností. K nestabilitě přispívají i otřesy a zvýšení obsahu vody v půdě suti či horninách. Voda totiž vyplní póry a poruší vazbu mezi pevnými součástmi. Voda na vrstevních plochách může působit jako mazadlo a usnadnit klouzání. Soudržnost suti a hornin je porušována zamrzáváním a táním, též zvětráváním a k nestabilitě mohou přispět i změny porostu nebo celkové odstranění vegetace. K nestabilitě svahu výrazně přispěje, jsou-li vrstvy ukloněny rovnoběžně se svahem a střídají-li se pevné lavice hrubozrnnějších hornin s vrstvami měkčích jemnozrnnějších hornin. U magmatických a metamorfovaných hornin je to podobné, vrstevní plochy jsou zde nahrazeny puklinami. Všechny zmíněné faktory ovlivňují stabilitu či nestabilitu svahu, proto je těžké určit kritický úhel svahu, nad nímž je situace riziková. Často se uvádí úhel 25°, avšak při nepříznivých podmínkách stačí k uvolnění svahového pohybu úhel daleko menší.

Zmínili jsme se již o databázi, o kterou pečuje Česká geologická služba – Geofond. Pro její účely jsou svahové pohyby děleny na sesuvy, proudy, odvaly (což je totéž jako skalní řízení) a blokové sesuvy (totéž co kerné sesuvy). Tato databáze dnes obsahuje tisíce položek, je neustále doplňována a najdeme v ní tyto údaje o charakteristice svahového pohybu: klasifikace, členitost a deformace, tvar deformace, aktivita, plocha, mocnost, přesná lokalizace souřadnicemi, sklon svahu, rozdíl výšek, délka a šířka tělesa, vznik jevu, datum revize, využití terénu, orografická jednotka, geologická stavba terénu, vztah k vodním tokům, přítomnost pramenů, příčina pohybu, případné porušené objektů, sanace, intenzita porušení svahu, trhliny, charakter smykové plochy a odlučné stěny, okraje deformace, čelo deformace, jméno a organizace zpracovatele, jméno pracovníka Geofondu, jenž údaje revidoval.

Jedním z mnoha výsledků této databáze je tabulka 6, ve které jsou čísla značící typ sesuvu, počet zaznamenaných objektů a plocha sesuvu.

Tabulka 6: Sesuvy, registrované k 31.2.2004 v databázi České geologické služby – Geofondu

Typ sesuvu	Počet zaznamenaných objektů
aktivní	2 532
pohřbený	24
potenciální	4 536
stabilizovaný	294
ostatní	24
celkem	7 410

Srovnáme-li vývoj situace od roku 2000 do konce roku 2003 s ohledem na plošnou rozlohu sesuvů, čísla v tabulce 7 ukazují, že se měnila celkem nepatrně

Tabulka 7: Plošná rozloha (v hektarech) jednotlivých typů sesuvů (podle databáze České geologické služby – Geofondu)

Typ sesuvu	Období (roky)			
	2000	2001	2002	2003
aktivní	7 802,27	7 830,27	7 718,46	7 854,34
pohřbený	150,52	150,52	150,55	150,52
potenciální	23 263,49	23 540,63	23 644,42	23 990,72
stabilizovaný	2 794,65	2 794,24	2 795,07	2 784,72
ostatní	158,62	158,62	158,78	158,62

Počítáme-li, že průměrná mocnost všech aktivních sesuvů je 3 m, zjistíme, že se svahovými pohyby přemísťuje více než 200 mil. m³ materiálu za rok.

Kromě čísel máme k dispozici i mapu jednotlivých druhů sesuvů. Na první pohled je jasné, že sesuvy jsou rozděleny na našem území nerovnoměrně. Neplatí přitom jednoznačně, že množství sesuvů je přímo úměrné rozložení svahů. Třeba na Šumavě, v Českém lese, i v jiných horách jsou sesuvy vzácné, naproti tomu jsou velmi hojné v Českém středohoří, Podkrušnohorské pánvi a na Moravě zvláště v Beskydech, Hostýnských a Vizovických vrších. Geologické podmínky a zásahy člověka hrají tedy ještě větší roli, než členitost území.

Na území Česka je známa řada starších sesuvů, z nichž některé vešly do literatury jako učebnicové příklady a odborníci se na jejich příkladech učí dodnes. Vyjmenujeme alespoň některé z nich a připojíme jejich stručnou charakteristiku. Podle historických záznamů byla v roce 1820 na Žatecku zničena obec Stará Stranná, uvádí se doslova „i s kostelem a školou“. Do pohybu se tam dostaly mladotřetihorní jíly na svahu nad Ohří. Sesuvy se opakovaly i později v letech 1872, 1882 a 1885. Tehdy jíly dokonce přehradily na čas řečiště Ohře.

Ještě známější a dnes již klasické jsou sesuvy na svahu kopce Hazmburku pod stejnojmenným hradem jižně od Libochovic. V letech 1882 a 1898 – 1900 tam byla zničena sesuvem část obce Klapý. I když pohyby začaly v noci, oběti na životech nebyly, jelikož suti lezoucí rychlostí několika metrů za hodinu se dalo utéci. Dodnes je svah s terénními vlnami a ohnutými stromy báječným příkladem sesuvného území, což oceňují na exkurzích i zahraniční odborníci. Jiným příkladem je sesuv na kopci Mužský u Mnichova Hradiště, kde se v roce 1926 sesuly pískovcové suti a křídové slínovce a zničily obec Dneboh. I zde stačili obyvatelé utéci. Během druhé světové války byla v několika fázích zavalena obec Dolní Týnec na Litoměřicku. V roce 1919 byly na Vsetínsku sesuvem pobořeny dvě osady, Elčice a Nevole.

Katastrofický případ svahových pohybů s rychlým průběhem se udál 29. až 30. července roku 1897 v Krkonoších, v Obřím dole. Bahnitokamenité proudy (mury) vzniklé po velkých lijavcích tu smetly dvě boudy i s jejich obyvateli, les i komunikace a přemodelovaly náplavový kužel na dně horského údolí. Z 9 obyvatel obou bud jich 7 zahynulo.

Silnice a železniční trať jsou často ohroženy a dokonce se stalo, že musely být opuštěny, protože riziko přetrvávalo a sanace byly drahé a sporné. V Čechách se to stalo na trati Žabokliky – Březno na Žatecku. Trať byla v provozu od roku 1873, ale za 6 let vyřazena. Vedla po svazích Ohře, které se neustále sesouvaly a zavalovaly ji. Téměř o sto let později, v roce 1975, se v Košťálově u Semil sesul násep trati. Ta pak byla vedena oklikou, avšak sesuv pokračoval, přehradil říčku Olešku a stoupající voda zatopila několik domů. Z Prahy jsou nejznámější případy Letná a Petřín. Letná je tvořena lavicemi pískovců s vložkami jílových a prachovitých břidlic (patří do letenského souvrství ordovického stáří). Vrstvy jsou nepříznivě nakloněny směrem k Vltavě rovnoběžně se svahem pod úhlem 30° – 40°. To samo je již znakem nestability svahu. Dešťové srážky v roce 1941 však nestabilitu znemohodnily a stráž se uvolnila. Zavalila důležitou nábrežní silnici suti 3 až 4 m mocnou. O život nepřišel nikdo, avšak doprava byla na několik týdnů přerušena. Dodnes jsou na letenské stráni mezi mostem Svatopluka Čecha a Štefánikovým vidět z protějšího břehu jizvy, neboť vegetace na postižených částech svahu ještě nestačila dorůst vegetaci okolní. Na Petříně se na svahu daly do pohybu svahové hlíny s úlomky hornin v letech 1964 a 1967 a porušily těleso lanovky. Při hloubení stavebních jam a zářezů vzniklo v Praze několik nebezpečných sesuvů. Když byla rozšiřována železniční trať pod Bohdalcem v Michli, naklonil se blok o objemu 8000 m³. K pohybům dochází na okrajích křídových plošin, např. na Proseku a na Strahově.

Riziko svahových pohybů se projevilo v celé své mohutnosti v roce 1997. V červenci došlo na Moravě a ve východních Čechách ke katastrofálním povodním, které v zatopených územích narušily stabilitu svahů. Svahové pohyby různého typu byly vyvolány boční erozí rozvodněných toků, zvýšením hladiny podzemní vody i nasycením hornin a zemin vodou. Mnohé starší, dočasně zklidněné sesuvy tím byly oživeny. Největší rizika se projeví v karpatských flyšových příkrovech na Vsetínsku, Zlínsku, Frýdecku-Místecku, Kroměřížsku, Novojičínsku a Uherskohradištsku. Orograficky patří tato území do Moravskoslezských Beskyd, Vsetínských, Hostýnských a Vizovických vrchů. Následovaly výzkumy a návrhy sanací. Z hlediska velikosti rizika byly tyto i jiné sesuvy rozděleny do tří kategorií:

I. kategorie – malé riziko

Sesuv dočasně uklidněný s možností obnovení svahových pohybů. Příčiny vzniku svahových pohybů však trvají, i když deformace jsou převážně v klidu. Hlavní příčina není odstraněna a pohyby se mohou opakovat. Svahové pohyby neohrožují bezprostředně stabilitu staveb, komunikací, pozemků a vodních toků. Okamžitá technická sanace území není nezbytná, sesuv je však nutno opakovaně sledovat, porovnávat výsledky a na jejich základě teprve rozhodnout o dalších krocích.

II. kategorie – střední riziko

Sesuv je stále aktivní, příčiny vzniku svahových pohybů trvají, hlavní příčina vzniku není odstraněna. Stále existuje nebezpečí ohrožení staveb (obytných budov, hospodářských a průmyslových budov), hydrotechnických a komunikačních sítí apod., pozemků a vodních toků. Toto nebezpečí však není bezprostřední.

Sanační práce v těchto případech nelze odkládat a je nutno je provést na základě projektu, který se opírá o výsledky předešlého sledování a vyhodnocení inženýrsko-geologického průzkumu.

III. kategorie – vysoké riziko

Svahové pohyby jsou stále aktivní a mají výrazné stopy čerstvých deformací (trhliny, zátrhy, vyvinutá odlučná stěna, terénní stupně, vyboulená čela, nakupení hmot apod.). Povrch deformace je zamokřený, případně rozbahněný, s drobnými jezírky nebo povrchovými potůčky. Svahové pohyby a sesuvné hmoty porušily stavby, komunikace, pozemky a vodní toky.

Hlavní sanační práce je nutno provést okamžitě, bez dlouhé projekční přípravy a složitých technických zabezpečovacích akcí. Měly by spočívat v povrchovém odvodňování a zemních terénních úpravách, např. v zatěsnění zejících trhlin a zřízení zatěšňovací lavice. Teprve po vyhodnocení úspěšnosti této havarijní sanace lze přistoupit k definitivnímu řešení, opírajícímu se o předchozí inženýrsko-geologický průzkum.

Po povodních v roce 1997 bylo v rizikové oblasti Moravy a východních Čech zjištěno 405 svážných terénů všech tří kategorií, z toho 130 mimořádně rizikových (III. kategorie podle uvedené klasifikace).

Značným rizikem jsou i svahové pohyby v povrchových dolech na hnědé uhlí v severočeské a sokolovské hnědouhelné pánvi. Svahy vnějších a vnitřních výsypek jsou strmé a mnohdy nestabilní a vyžadují monitorování inženýrskými metodami. Lomové stěny hrozí zřícením na řadě míst. Velmi zajímavým a speciálním problémem je stabilita jižních svahů Krušných hor, jež jsou v blízkosti dolového pole nestabilní. Např. severní stěna dolu Čs. armády odkrývá vyvlečení sloje při krušnohorském zlomu.

V roce 1995 se nejen odborníci, ale celá veřejnost seznámila s tzv. „případem Čertovka“. Došlo totiž ke skalnímu řízení ve Vaňově, čtvrti Ústí nad Labem. Koryto Labe při svém zařiznutí do podkladu obnažilo strmé stěny křídových sedimentů a třetihorních vyvěrelin. Horniny jsou tektonicky porušeny, mechanicky rozpadlé a postiženy zásahy lidské činnosti, svahy se staly výrazně nestabilními. Došlo ke skalnímu řízení, k pádu bloků na obytná stavení i k pomalejším pohybům sutí. Okamžitě byla vypracována studie s návrhy sanace. Jelikož je na mnoha místech kaňonu Labe situace též riziková, byla tato studie rozšířena až po Hřensko. Tam, jak je známo, riziko řízení pískovcových bloků bylo tak velké, že byla nutná evakuace některých objektů. Inženýrsko-geologické studie potvrdily, že se řízení opakuje vždy po několika letech. Ke katastrofickým událostem, kdy se do pohybu dávají masy o objemu tisíců metrů krychlových, dochází zhruba jednou za 9 až 11 let, pokud jsou objemy ve stovkách metrů krychlových, pak jednou za 5 až 6 let. Hřensko ovšem není jediné, kde hrozí svahové pohyby. Nepříjemné důsledky mělo zřícení bloků z Mariánské hory v Ústí nad Labem v listopadu 1998, kdy byla zavalena trať a doprava na této hlavní trase přerušena na 12 hodin. Severnější Pastýřská stěna v Děčíně musí též být neustále kontrolována.

Z tohoto rozboru svahových pohybů jasně vyplývá, že jsou jedním z nejvážnějších přírodních rizik v naší republice, a že mohou vyústit ve skutečnou přírodní katastrofu.

Proto se neustále pokračuje v mapování a hodnocení rizikových oblastí. Výzkum se soustřeďuje na území bývalých okresů Mladá Boleslav, Vsetín a Zlín a nově se do detailního inženýrsko-geologického mapování sesuvů pro léta 2005 – 2007 zařazují horské části území bývalých okresů Frýdek-Místek a Uherské Hradiště. Jde o program nazvaný ISPROFIN č. 215120 „Podpora prevence v územích ohrožených nepříznivými klimatickými jevy“. Jeho cílem je:

1. Doplnění registru sesuvů České geologické služby-Geofondu Praha o dosud nevidované sesuvy, vzniklé v letech 1997 a později. Tyto posudky jsou zjišťovány přímo v terénu během posudkové činnosti. Většina z nich byla nahlášena obecními a bývalými okresními úřady.
2. Systematická evidence a klasifikace sesuvů pro nové vymezení území se zvláštními podmínkami geologické stavby, studium modelových území. V neohroženějších oblastech vybraných podle stavu ohrožení po povodních v letech 1997 a 2002 provést inženýrsko-geologické mapování v měřítku 1 : 100 000 a rajonizaci území z hlediska potenciálního rizika svahových pohybů.
3. Studium a monitorování některých sesuvů jako modelových, za účelem zjištění zákonitosti vzniku sesuvů a vztahu k ostatním geologickým faktorům. V letech 1997 až 2003 byly sledovány tyto lokality:
 - dnes sanované aktivní sesuvy, lokality Mikulůvka-hřbitov, Růždka-obec a nesanovaný sesuv Karolinka-Brodská (býv. okres Vsetín),
 - sanovaný aktivní sesuv Halenkovice-Jamborův statek (býv. okres Zlín),
 - aktivní sesuvy z dřívějších let, zatím nesanované jako Oznice, Hošťálková (býv. okres Vsetín),
 - geologicko-geomorfologická dokumentace rozsáhlých fosilních sesuvných území s různým stupněm aktivity a pseudokrasovými jevy Pulčín-Hradisko, Malá Bystřice (Vaculov-Sedlo), Vsetín-Semetín (Křížový vrch), Karolinka-Kobylská, Jezerné u Velkých Karlovic, vrch Kopce u Lidečka (vše Vsetínsko) a horský masiv Kněhyně (Frýdecko-Místecko),
 - v býv. okrese Mladá Boleslav se jedná o sesuvy jv. od Mnichova Hradiště – z. svahy Vyskeřské vrchoviny s od k. Mužský (Příhrazská plošina), svahy Chloumeckého hřbetu mezi Mladou Boleslaví a Dobrovicí a vrch Baba.

Do roku 2007 bude nutné zmapovat další velkou část karpatského flyše (především býv. okresy Frýdek-Místek, Uherské Hradiště, Hodonín, Kroměříž), s. část Doupovských hor kolem kaňonu Ohře (modelové sesuvy Jakubov a Úhošť) a České středohoří, oblast západ i východ (modelové sesuvné území Sedlo na Litoměřicku). Počítá se i se zpracováním lokalit Vaculov-Sedlo (Vsetínsko), Křížový vrch, vrch Kopce, Jezerné Hošťálková, Kobylská (vše Vsetínsko) a několika dalších rozsáhlých svahových deformací. Další detailně studované lokality budou v oblasti Zlínska, jako Nedašov a okolí a též Vlárský průsmyk.

Účelové inženýrsko-geologické mapy ukazují staré i současné svahové deformace, soustřeďují se na rozpoznání aktivních a potenciálních svahových terénů, rozlišují stabilní a nestabilní území a upřesňují možnosti použitelnosti území pro výstavbu, území podmínečně použitelná a území zcela nevhodná z hlediska výstavby obytných a průmyslových objektů, komunikací, dálkovodů i lehkých rekreačních objektů.

Tak, jako u všech přírodních katastrof, z výzkumu jejich vzniku a důsledků jsou navrhovány metody k ochraně proti nim a k co největšímu možnému snížení jejich účinků. U svahových pohybů je neúčinnější ochranou prevence, což znamená, že v ideálním případě bychom se měli při zpracovávání územního plánu vyhnout všem rizikovým sesuvným územím. V minulosti ovšem docházelo k vážným chybám, na sesuvných územích se stavělo, vedou jimi komunikace. Když již na takových územích k pohybu došlo, je na prevenci pozdě. První ochranou prací by pak mělo být zachycení a odvedení povrchové vody. Doporučuje se též odčerpání vody ze studní a odvodnění drenážemi pod povrchem. Úprava terénu též bývá nezbytná. Je nutno odlehčit svahům v horní, odlučné oblasti, čímž se sníží jejich nestabilita a účinek gravitace. Doporučených technických prací je celá řada. Je to kotvení, rozrušování smykových ploch, injektování, zajišťování pilotami a stavba opěrných zdí. Pohotovost a rychlost zásahu jsou důležité, neboť pohyb se často rychle šíří a jeho podchycení bývá později namáhavější a dražší. Zalesnění svahů vhodnými dřevinami přirozeně pomáhá k dlouhodobému udržení jejich stability.

Neobvyklé, avšak důležité názvy

Svahové pohyby mají podle svého charakteru různá jména. Čemu říkáme sesuv, plouživý pohyb půd, řízení skal, to jsme si již vysvětlili. Je zde však mnoho dalších názvů, které zaslouží alespoň krátkou zmínku. Často se píše a mluví o přívalových proudech. To jsou katastrofické proudy, ve kterých se pohybuje směs horninového ma-

teriálu a vody a mohou téci i rychlostí několika set kilometrů za hodinu. Pokud v nich převládá jíl, tedy smíšený s vodou jako bahno, říkáme jim bahnotoky. Pokud je v nich více hrubšího materiálu, jde o úlomkotoky a pískotoky. Přejídným členem mezi sněhovými lavinami a úlomkotoky jsou sněhokamenité laviny. Pod vodou, v mořích i v jezerech se často tvoří turbiditní proudy, což jsou rychlé proudy bohaté jemnozrnnou suspenzí. Jsou hustší než normální vodní proudy a mohou proto transportovat mnohem hrubší materiál. Zatím co v bahnotoku převládá jíl, prach a písek nad vodou, je v turbiditním proudu přibližně rovnováha mezi pevným materiálem a vodou.

Užívají se i některé názvy, jež byly původně lokální, ale přešly do obecného odborného jazyka. V Alpách se přívalovým proudům s bahnem i kameny říká mury, ve Střední Asii se podobným proudům říká seli. Termín mury najdeme i v české literatuře, říká se tak přívalovým bahnitokamenitým proudům v Krkonoších (zvl. Obří a Dlouhý důl), které po sobě zanechávají zřetelné stopy, tzv. murové dráhy. Jsou známy i z Hrubého Jeseníku (údolí Hučivé Desné) a z Vysokých a Nízkých Tater.

Největší a nejtragičtější

I když k této události nedošlo na českém území, můžeme ji považovat za tragédii pro naši společnost. 31. května 1970 se z hory Nevados Huascarán v Peru při silném zemětřesení utrhl kus ledovce. Led roztával a smísil se se suti a vytvořila se smrtonosná sněhokamenitá lavina. Ta se z dvacetipětistupňového svahu řítila rychlostí 400 km za hodinu do údolí a zahubila na 21 000 lidí, včetně všech patnácti členů naší horolezecké expedice. Pak se lavina smísila s vodou a změnila se v kamenitý bahnotok (bahnitokamenitý přívalový proud).

Za největší sesuv historické doby se pokládá událost z roku 1911, k níž došlo v Pamíru. Po silném zemětřesení se sesulo na 2,5 km³ suti, zavaleny byly vesnice a údolí řeky Murgab, čímž se vytvořilo jezero o délce 53 km a hloubce 284 m.

Nejtragičtějším sesuvem byl bezesporu sesuv v čínské provincii Kan-su v roce 1920, kdy sprašovou plošinu postihlo silné zemětřesení. Vibrace spraší otráslly, ta ztratila soudržnost a milióny krychlových metrů žluté smrti zavalilo na 200 000 obyvatel.

Víme ovšem, že historická doba je jen mžikem proti geologické historii Země, dokonce i proti její nejmladší historii, čtvrtohorám. I pro sesuvy platí, že během nich se staly katastrofy, které svými rozměry předčí vše, co známe ze současnosti. Na konci pleistocénu, staršího období čtvrtohor, došlo před 12 000 lety v íránském Zagrosu k svahovému pohybu, kdy se sesulo 20 km³ vápenců a zavalilo na 166 km² povrchu. Srovnajme objemy největšího známého historického sesuvu a tohoto íránského, který byl nejméně 10krát mohutnější!

Evropský primát má zřejmě sesuv zvaný flimský, pojmenovaný podle vesničky u švýcarského Churu. Před miliónem let se tam sesulo na 12 km³ suti, která přehradila Rýn.

Sněhové laviny

Sněhové laviny patří svým mechanismem též do svahových pohybů. Soudržnost sněhu překročí určitou mez a gravitace způsobí pohyb ze svahu. Proto je považujeme za přírodní katastrofy geologického charakteru. Z hlediska počtu obětí a tím rizik by u nás měly sněhové laviny zaujmout mezi přírodními katastrofami jedno z prvních míst.

Lavinu definujeme nejčastěji jako náhlý a rychlý pohyb sněhu ze svahu na dráze delší než 50 m. Pokud je pohyb kratší, můžeme mu říkat lavinový splaz. Hory, byť s nebezpečím lavin, lákají stále více a více sportovců a rekreatantů, z nichž většina jistě o nebezpečí lavin ví. Horská služba se stará o prevenci, vytyčuje lavinové svahy a instruuje své členy i širokou veřejnost. Přesto však se dočítáme každoročně o obětech lavin v našich i zahranič-

ních horách. Podle zahraničních statistik je riziko lavin opravdu vážné. Švýcarský Federální ústav pro výzkum lavin uvádí, že pouze v této zemi je za posledních 50 let (do roku 2003) téměř 500 obětí lavin. Kanadské statistiky uvádějí, že v letech 1970 – 2002 zahynulo v lavinách v Kanadě 336 lidí, z nichž téměř polovina připadla na rekreační lyžaře.

Historické záznamy zachycují doložené katastrofy daleko větších rozměrů. Zmíníme se třeba o zážitcích armád z první světové války, kdy laviny v tyrolských Alpách zahubily tisíce vojáků. Dokumenty, zaznamenávající fakta o zlaté horečce na americkém západě v letech 1880 – 1910 potvrzují, jak byly tábory zlatokopů zavaleny lavinami, a to s katastrofálními následky.

Lavina je směsí sněhových krystalků a vzduchu. Sníh se po dopadnutí na zemský povrch brzy mění. Krystalky sněhu rostou a zmenšuje se porozita. V určité hloubce pod povrchem překrystalováním může vytvořit kluzná plocha, po které se masa sněhu sune. Gravitace způsobí tahové napětí v horní části svahu a porušení sněhové vrstvy v těchto místech vede většinou k uvolnění laviny. Kritický úhel pro vznik sněhové laviny je 22° , což však neznamená, že nemohou vzniknout na svazích mírnějších, nebo že se vždy vytvoří na svazích prudších. Záleží totiž i na profilu svahu. Vyduuté svahy bývají stabilnější, vypuklé jsou nebezpečnější, neboť vypuklina zvyšuje tahové napětí. Vznik laviny ovlivňuje i tzv. mikrorelief, což jsou drobné nerovnosti. Hladké travnaté svahy bývají lavinovitě. Naopak, keře, velké kameny a jiné překážky vzniku lavin brání. V zasněženém lese se lavina utvoří jen těžko, avšak jednotlivé stromy na svahu lavině nezabrání. Důležitá je i orientace svahu. Na jižních svazích je na počátku zimy lavin méně, jelikož sníh rychleji sedá, avšak na konci zimy je na takových svazích nebezpečí větší, protože táním se stává sněhová pokrývka nestabilní.

Sněhové laviny dělíme na dva základní druhy, prachové a vrstevní (zvané též deskové). Prachové laviny jsou tvořeny beztvárovou směsí prachového sněhu. Mezi pohybujícím se sněhem a podložím není kluzná plocha. Takové laviny vznikají na omezené ploše, někdy dokonce i v jediném bodě. Vrstevní (deskové) laviny jsou odděleny od podloží kluznou plochou. Vrstva sněhu se podle této plochy odtrhne od podloží, podobně jako u jiných sesuvů. Sunou se jako vrstva či deska buď po podložním starém sněhu nebo po horninovém podkladu. Vrstevní laviny bývají nebezpečnější než prachové, i když záchranáři tvrdí, že jsou pomalejší a lze jim dokonce na lyžích ujet. Jejich nebezpečí však spočívá hlavně ve větším objemu sněhu a v jeho větší vlhkosti a tím hmotnosti. Rychlosti lavin kolísají v širokých mezích. Prachové provzdušněné laviny dosahují rychlosti 120 až 360 km za hodinu. Těžší prachové laviny se pohybují rychlostí 50 – 70 km za hodinu. Vrstevní (deskové) laviny nejsou rychlejší než 25 – 36 km za hodinu.

Laviny dělíme ještě podle tvaru i velikosti. Podle tvaru rozeznáváme údolní a plošné laviny. Údolní se valí protáhlou sníženinou, tedy údolím, či úžlabinou. Plošné laviny postupují po rovné sklonité ploše. Podle velikosti dělí např. horská služba laviny na velké, střední a malé. Velké ničí po cestě všechno, střední jsou nebezpečné jen lidem, malé ani těm ne.

Příčiny vzniku lavin můžeme rozdělit na přímé a nepřímé. Hlavní nepřímé příčiny jsou tyto: nestabilita svahu, rekrystalizace sněhu, odlučné plochy ve sněhové vrstvě, navátí sněhu do forem, majících větší sklon než svah. Přímoú příčinou jen nejčastěji otrěs. I kámen, dopadající na sněhové pole, může vyvolat lavinu. Právě tak i pád stromu nebo sněhové koule. Lavinu uvádějí do pohybu i lidé, přecházející oblast lavinového napětí. O tom, zda pouhý zvuk může uvolnit lavinu, jsou spory. Většinou se soudí, že lidský hlas těžko, ale třeba výstřel pravděpodobně ano.

Hodnocení stupně lavinového nebezpečí podle charakteru sněhové pokrývky je v tabulce 8.

Tabulka 8: Stupeň lavinového nebezpečí (od 1 – mírné do 5 – velké) podle charakteru sněhové pokrývky

Stupeň	Charakter a stabilita sněhové pokrývky	Pravděpodobnost uvolnění laviny
1	dobře zpevněná, stejně stará, nezvrstvená	možné jsou ojedinělé sněhové sesuny na lavinových svazích
2	dobře zpevněná, na strmějších částech svahu však nestabilní, pohyblivá	při mechanickém zatížení je možný ojedinělý výskyt lavin na lavinových svazích
3	na velmi strmých svazích nestabilní a pohyblivá, případně též zvrstvená	uvolnění laviny v lavinových terénech je možné i při malém mechanickém zatížení. Na strmých svazích mohou vznikat samovolně malé a střední laviny
4	sníh převážně slabě zpevněn, možnost vzniku kluzné plochy, sníh různého stáří	velká pravděpodobnost uvolnění lavin i při malém zatížení, samovolné uvolňování středních a velkých lavin
5	sníh málo zpevněný, zvrstvený, s kluznou plochou	možný vznik velkých lavin i na netradičních svazích

Ochrana před lavinami

Podobně jako u všech svahových pohybů je nejdůležitější ochranou prevence. Lavinové svahy odborníci vytipují snadno. Důležitá je registrace starších lavin, jelikož se pohyb sněhu stejnými cestami opakuje. Pozor však na výjimky, jako ostatně u všech přírodních katastrof!

Pro předpovědi lavinového nebezpečí je důležitý i směr větru a množství srážek. Napadne-li více než 25 mm nového sněhu, jsou laviny možné, je-li to více než 50 mm jsou velmi pravděpodobné, a je-li to nad 100 mm, musíme počítat s okamžitým utržením lavin (pozor, hodnoty srážek uvádějí odborníci, i my zde, v milimetrech ekvivalentního množství vody). Pravděpodobnost lavin se zvyšuje i podle rychlosti odtávání sněhového pole.

Ochrana proti lavinám může být aktivní i pasivní. Při pasivní ochraně se vyhýbáme lavinovým svahům nebo stavíme zátarasy. Aktivní ochrana spočívá v ostřelování lavinových svahů, čímž se uvolní malé neškodné laviny a zabrání se kritickému hromadění sněhu.

Instrukce pro osobní ochranu jsou jasné: Pokud nelze lavině uniknout, rychle uvolnit vázání na lyžích a snowboardu, odhodit hole, zahodit batoh, přetáhnout kapuci přes hlavu a dát si ruce před obličej. Pokusit si v lavině vytvořit vzduchovou kapsu. V prachové lavině je někdy možné i „plavat“ a tak se dostat k povrchu. Doporučuje se mít s sebou i lavinový provázek, případně s balonkem na konci. Nejnovější vymožeností jsou i airbagy zamontované v ruksaku.

Přírodní katastrofy jsou zcela normálními geologickými procesy

To, že lidé hustě zabydlili povrch Země a v mnohém ovlivňují přírodní procesy, nijak neznamená, že by geologické pochody nepokračovaly dodnes. Naopak, některé z nich jsou vlivem „lidské podpory“ intenzivnější než v minulosti. Člověk dokáže přemísťovat o řád více hornin a zemin, než příroda ve stejném čase. Člověk dokáže vyhloubit ve stejné době stokrát větší objemy podzemních prostorů, než příroda. Člověk však nemůže zastavit zemětřesení, cunami, atmosférické poruchy. Může jen omezit, avšak ne zabrzdit svahové pohyby a povodně.

Geologové nepočítají historii Země na roky, desítky, stovky, ba tisíce let, jako historikové a archeologové, ale jsou zvyklí posuzovat stáří Země na desítky, stovky, ba až miliony a miliardy let. Za tuto nesmírně dlouhou dobu postihly Zemi tisíce různých přírodních katastrof, z nichž některé zanechaly výrazné stopy dokonce i na území

naší republiky. Rozhodně nebude nezajímavé o některých se zmínit, seřadit je do tabulky (číslo 9) a posoudit, zda podobné katastrofy nám hrozí i dnes.

Tabulka 9: Některé velké katastrofy v geologické historii Česka a jejich vztah k současnosti

Doba	Druh katastrofy	Svědkové	Současné riziko
před 800 – 600 Ma, v proterozoiku	mohutné podmořské skluzy, často vyvolané zemětřesením	polohy drob a slepenců mezi břidlicemi v proterozoiku západních Čech	žádné
před 500 Ma v kambriu	sopečná činnost, trvající několik milionů let, část Čech byla vulkanickou krajinou s výlevy láv i vývrhy tufů	vulkanické horniny křivoklátsko-rokycanského komplexu, zachované hlavně na Křivoklátsku	žádné
před 450 Ma, ordovik	podmořské výlevy láv, akumulace vulkanických produktů, jejich vynoření jako vulkanické ostrovy	mocné série vyvěřelin a jejich tufů v Barrandienu, hlavně mezi Komárovem a Zdicemi	žádné
před 310 Ma, spodní karbon	gigantické podmořské skluzy, častá zemětřesení, rychlé nanášení štěrku a písku do hlubokého moře	polohy štěrku a drob v kulmských sedimentech Nízkého Jeseníku a Drahanenské vrchoviny	žádné
před 290 Ma, permokarbon	pohyb ohromného objemu štěrku a písku ze svahů velehor do pánví. Sesuvy, povodně	mocné polohy slepenců a hrubozrnných pískovců v terestrických uloženinách středočeských a hlavně severočeských pánví	riziko svahových pohybů na příkřejších odlesněných svazích
před 90 Ma, křída	bouře na velkém křídovém moři, též vlnobití a abraze pobřežních srázů	polohy pískovců se zvrstvením, tvořícím se v rozbouřeném moři	žádné
před 15 Ma, miocén	část Čech i Moravy vulkanickou krajinou. Na povrchu sopky, pod ním sopečná magmatická tělesa. Činnost přetrvává až do čtvrtohor	ohromné objevy bazaltových i fonoliových vulkanitů a jejich tufů. Velký stratovulkán Doupovských hor, vulkanity Českého středohoří, na Moravě vulkanity Nízkého Jeseníku	malé, spočívá v ochranně jevů postvulkanické činnosti, hlavně termálních vod. Sopečná činnost skončila asi před 250 000 lety
před 100 000 lety, pleistocén	během zalednění časté prachové a pískové bouře, při tání ledu gigantické povodně	zbytky pokryvů eolických písků, mocné vrstvy spraše, štěrky na říčních terasách	riziko povodní poměrně značné, riziko prachových bouří nelze podcenit

Rizika působení větru na zemský povrch

Geologické následky katastrof a rizik, vázaných na pohyb vzduchových mas, jsou značné. Nebudeme se zde zabývat velkými změnami zemského povrchu při útoku tropických cyklón, ani bouřlivými přílivy, podporovanými uragánem. Zdůrazníme však, že Česko patří ze střeoevropských zemí na jedno z prvních míst, kde je nutno počítat s rizikem eolických pochodů, jak činnosti větru říkáme. A z hlediska tohoto působení jde zcela zřetelně o problém geologický. Proto se mu v tomto textu nevyhýbáme.

Hlavními riziky eolických pochodů jsou prachové a pískové bouře, jež způsobují jednak sedimentaci až katastrofického rázu, jednak naopak rychlou erozi půd.

Prachové a pískové bouře

Prachové a pískové bouře mohou skutečně dosáhnout rozměrů přírodní katastrofy, ne snad počtem lidských obětí, ale škodami, které způsobí.

Jsou to atmosférické poruchy, které však mají značný geologický vliv na zemský povrch. Termíny prachové a pískové bouře se užívají poměrně volně a často se zaměňují. Podle síly a doby trvání větru se totiž dostávají do vzduchu částice o různé velikosti zrna. Mnohdy dosahují nanejvýš siltové (prachové) velikosti, tj. rozměrů v rozmezí 0,01 – 0,05 mm, při silnějších větrech je transportován i jemnozrný písek.

Proto je hranice mezi prachovými a pískovými bouřemi neostrá, oba termíny se směšují i v angličtině (dust storms, vs. sand storms).

O prachových a pískových bouřích se často píše v historických dokumentech, i dnes jsou podrobně studovány v pouštních a polopouštních oblastech. V takových zemích sice napáchají obrovské škody, mohou hynout stáda ovcí, přehnané jsou však legendy o tom, že byla pískem zasypana celá armáda Alexandra Velikého v poušti Siwa v Libyjské poušti nebo že zmizely celé velké karavany. Nicméně, zničená úroda v oázách, poničená technika, dýchací potíže, ba i nemoci obyvatel jsou dostatečným rizikem tohoto procesu. Dodáme ještě, že pravidlo chování pro ty, které bouře zastihne v poušti, je toto: Jsi-li v autě, zavři okénka a zůstaň uvnitř. Nemáš-li auto, vyhledej závětrné místo, přikryj si šátkem hlavu, lehni si břichem a obličejem k zemi. Jsi-li na plošině bez možného úkrytu, lehni si obličejem k zemi a hlavou směrem od bouře. Hlavně zůstaň klidný, nejsi v nebezpečí života!

Z dlouhodobého hlediska, pískové návěje a závěje i vrstvy prachu jsou jakousi předsunutou hlídkou dezertifikace, tj. rozšiřování pouští. Satelitní snímky dokazují, jak se saharský prach přes Atlantik jako závoj dostane až do Ameriky. To, že je občas zanesen i do střední Evropy, není nic výjimečného.

Prachové a pískové bouře nejsou v České republice výjimkou. Známe řadu příkladů jejich škodlivého působení. Odvoláváme se zde hlavně na studie Stehlíka (1981), Vašátka (1992), Hrádka a Švehlíka (1995), Kolečky a Shallala (1995) a Hrádka et al. (1995).

Za rizikové z hlediska působení větru je možno pokládat oblasti, kde často rychlost překračuje 5. stupeň Beaufortovy stupnice, tj. $8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Z Čech je rizikovou oblastí hlavně Polabí, na Moravě pak moravské úvaly a brány. Maximální nárazy větru obvykle nepřevyšují rychlost $18 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, jsou však výjimky.

Hlavním rizikem eolické činnosti je eolická eroze, uvedení částic do pohybu, jejich transport a případná depozice na našem území. Nejedná se pouze o půdy, které jsou nejzranitelnější. Eolická eroze, zvaná deflace, působí i na zvětraliny, které nejsou půdami, někdy i na navětralé a drolivé povrchy hornin. Při mimořádně rychlých větrech může dojít i k prachovým a pískovým bouřím, kdy je ve vzduchu velké množství částic, takže dochází ke snížené viditelnosti. V eolické suspenzi jsou částice zrnitosti prachu (siltu, tj. o rozměrech 0,01 – 0,05 mm) a jemnozrného písku (0,05 – 0,1 mm). Převládá-li jemnější frakce, pak pískové bouře přecházejí do prachových bouří. Mnohdy se mezi oběma nerozlišuje. Eolická suspenze posléze sedimentuje nedaleko od místa vzniku, a to jako pískové návěje, dokonce se tvoří i pískové duny různých tvarů. Takové procesy známe z Dolnomoravského úvalu, ba i z Třeboňské pánve.

V Čechách je 26 % povrchu ohroženo eolickou erozí půd, na Moravě je to dokonce 45 %. Od roku 1957 byly procesy eolické eroze studovány na experimentálním polygonu na úpatí Bílých Karpat na jv. Moravě. Ke skutečně katastrofální erozi došlo v roce 1972, kdy bylo erodováno 203 m^3 materiálu na hektar za rok. Průměrná roční rychlost eroze je $37,8 \text{ m}^3$ erodovaného materiálu na hektar za rok. Při pouhé jedné katastrofické události v roce 1972 v Bánově bylo erodováno $6\,700 \text{ m}^3$ ornice z plochy 33 ha, což odpovídá rychlosti eroze 203 m^3 z hektaru. Znám je případ z roku 1926, kdy byla materiálem z pískové bouře zavalena a přerušena železniční trať o několikakilometrové délce u Veselí nad Moravou. V roce 1957 byla zasypana a zablokována silnice v délce 400 m.

K jiné katastrofě došlo u Břeclavi v roce 1965, kdy prachová bouře zničila řepu cukrovku na ploše 600 ha a tabák s okurkami na ploše 36 ha.

Pískové a prachové bouře byly podrobně studovány, hlavně na Moravě a ve Slezsku, Hrádkem a Švehlíkem (1995). Důležitý je samozřejmě větrný režim, úhrnné množství srážek s jejich sezonností i podmínky geomorfologické a geologické. Pískovými bouřemi jsou nejčastěji postihovány nivy řek a terasy v jejich okolí, plošiny se sprašemi, prostě místa, kde jsou mladé, nezpevněné sedimenty a půdy nekryté vegetací. Zmíníme se o několika zasažených oblastech a katastrofických událostech.

V Dyjsko-svrateckém úvale jsou největší a stálá rizika v oblasti Znojma a Mikulova, občas je to i oblast Brna. Ve zmíněné jižní oblasti byla zaznamenána katastrofa, prachová bouře, 26. dubna a 5. května 1989 u Drnholce, kdy byla zničena úroda cukrovky na 260 ha. Byly erodovány nejen nejjemnější částice, ale i štěrčík o rozměrech nad 2 mm. Samotné Brno bylo postiženo 28. dubna 1989, kdy Český hydrometeorologický ústav oznámil rychlost větru 120 km za hodinu (33 m za sekundu). V okolí vesnice Dvorská se zdvihla mračna prachu a byla hnána na Brno, kde snížila viditelnost a zcela ochromila dopravu.

V Dolnomoravském úvalu jsou známy prachové a pískové bouře z okolí Bzence a Hodonína, oblasti, které se říká Moravská nebo Hodonínská Sahara. U Bzence jsou dokonce recentní duny 7 až 11 m vysoké, první z nich se vytvořily v 1. století př. Kr. V severní části Dolnomoravského úvalu na úpatí Chřibů došlo ke katastrofální prachové bouři u Polešovic v dubnu 1976, kdy bylo erodováno celkem 10 300 m³ půdy, přepočteno na hektar to bylo množství 63 m³.

Ve Vyškovské bráně způsobily severovýchodní větry o rychlosti do 100 km za hodinu 1. dubna 1992 prachovou bouři, která zablokovala u Rousínova dopravu na dálnici Brno-Ostrava. Viditelnost se snížila na pouhých 20 – 50 m. V Hornomoravském úvalu se nepříjemným, ba katastrofickým severním a severovýchodním větrům říká lidově „Polák“. Z mnohých případů je známa bouře ze 3. května 1988, kdy z okolí Prostějova byla erodována centimetrová vrstva půdy.

I v jiných moravských a slezských oblastech byly zaznamenány prachové a pískové bouře, jako z okolí Krnova, Velkého Meziříčí a Třebíče a z úpatí Bílých Karpat mezi Strážnicí a Bojkovicemi.

Zajímavá je statistika prachových a pískových bouří podle Hrádka a Švehlíka (1995). Vypočítali, že nejčastěji k nim dochází v březnu (25,17 % z celkového počtu), na druhém místě je únor (21,39 %), po nich těsně následuje leden a duben. V květnu se zazelená úroda, pole jsou kryta vegetací a procento klesne na 3,77. Dlouhodobá čtyřicetiletá pozorování ukazují, že se období s největším počtem katastrofálních bouří střídají v intervalu 4 – 5 let.

Z některých kvantitativních údajů je zajímavé zjištění, že na úpatí Bílých Karpat je každoročně erodováno v průměru 0,4 mm ornice, při čemž je ohrožena plocha 400 000 hektarů. Vítr eroduje a do suspenze pojímá na 60 000 – 80 000 m³ materiálu. Pokud jde o nosnou kapacitu větru, ten je schopen erodovat až dvoumilimetrové částice, pouze výjimečně i větší.

Hlavní rizika pískových a prachových bouří v našich zemích jsou jasná: rychlá eroze půdy, zanášení úrody a komunikací. Velké riziko je i v odnosu hnojiv z půdy. Ty se pak dostávají k obydlí a člověku. Jsou-li usazeny v půdách či vodních nádržích, mohou značně přispět k jejich znečištění.

Geologické faktory vzniku říčních povodní

O povodních v České republice máme k dispozici bohatou vědeckou i populární literaturu. Mnoho informací najdeme např. v bohatě ilustrované knížce „Voda v krajině“ (editor J. Kender, 2004). O ochraně před povodněmi a revitalizaci vodního prostředí doporučujeme prostudovat publikaci T. Justa et al. (2003) a samozřejmě i ve zmíněné publikaci MŽP ČR „Počasí, krizové situace způsobené přírodními vlivy“ (editor I. Obrusník, 2002).

Každý porozumí tvrzení, že na vznik a velikost povodní mají vliv především dešťové srážky, a to jejich úhrnné množství dopadající v určitém čase na určitou plochu zemského povrchu. Platí, že čím větší je srážkový úhrn při

přepočtu na dobu a na postiženou plochu, tím je povodeň větší. Jde zde však řada dalších faktorů, které je nutno brát v úvahu a mezi nimi jsou podmínky geografické a geologické. Ke geografickým patří:

a) tvar povodí, b) nadmořská výška, c) sklonitost svahů, d) spád otoku, e) členitost povrchu, f) zeměpisná orientace svahů, g) vegetace.

Ve své podstatě jsou nadmořská výška, sklonitost svahů, spád, toku, členitost povrchu i tvar povodí podmíněny geologickým vývojem a tím geologickým složením území.

Při hodnocení rizika povodně je mnoho obsaženo pod pojmem retence krajiny. V tomto pojmu je skryto mnoho geologických faktorů, a to infiltrační schopnosti půdy i geologického podkladu, velikost říčních niv a jejich složení, i reliéf, třeba stupňovitost svahů závislá na geologickém složení. Nejen půdy, nýbrž i geologický podklad výrazně ovlivňují retenci. Pískovce a vápence retenci zvyšují, jílové sedimenty snižují. Puklinaté granity a ruly a jiné krystalické horniny retenci zvyšují, masivní horniny snižují. I mírné deště před přívalovými však mohou vodou nasytit jak půdy tak podložní horniny a tím retenci snížit až skoro k nulové hodnotě.

Vsak vody do půdy a nádrží podzemních vod (vsak = infiltrace) může nahromadit značná množství vody a omezit tak odtok. Infiltrace závisí na typu půdy, její mocnosti, pórovitosti, obsahu humusu, a také na nasycenosti vodou. Pokud spadne na povrch více vody, než je povrch schopen infiltrovat, voda odtéká. Při pokračujícím dešti se půda a podložní horniny vodou nasycují a povrchový odtok se zvyšuje. Při infiltraci se vody pohybuje vlivem gravitace a kapilárních sil. V podmínkách naší mírné klimatické zóny je rychlost infiltrace do jílových a siltových půd od 0 do 1,4 mm za hodinu, avšak v písčítých a šterkových půdách je rychlost až 7 m za hodinu. V lesních písčítých půdách je průměrná rychlost nad 8 cm za hodinu.

Velikost povrchového odtoku je ovlivněna i naplňováním prohlubní na povrchu, což nazýváme detencí. Proto na rovinách se detencí může nahromadit více vody než na sklonitém terénu. Detence omezí odtok ovšem jen v prvních stadiích povodně.

Největší škody napáchají povodně na říčních nivách. Nivy též nazýváme záplavovým územím, což znamená, že povodně jsou tam zcela přirozeným geologickým jevem. Nivy mají pod vegetací, případně i pod lidskými sídly říční sedimenty, svědky starých, mnohokrát opakovaných záplav. Vodohospodáři srovnávali rozsah katastrofické povodně roku 2002 s rozsahem starých říčních nivních sedimentů a zjistili, že v mnoha případech se zaplavení krylo s rozšířením niv. Na některých místech však voda přesáhla tuto hranici, např. na Vltavě nad Českými Budějovicemi, při obci Poříčí, na soutoku Vltavy a Labe a na Labi u Terezína. Studie kolem Otavy ukázaly, že všude, kam dosáhla voda v roce 2002, jsou i starší povodňové sedimenty. To znovu dokazuje riziko lidské činnosti na nivách a jejich osídlování.

Jedním z úkolů revitalizace je snížení rizika povodní a jejich následků. Návrat k přirozenému rázu koryt vodních toků a niv, jimiž se zabývají krajinnotvorné programy MŽP, může současně přispívat k protipovodňové ochraně. Představa je tato:

- důležité je zpomalit postup povodňové vlny, způsobit její sploštění, snížení úrovně její kulminace. K tomu přispívá zmenšení kapacity koryta a zvětšení rozlivu po nivě,
- podporuje se obnovení přirozených forem retence povodňových vod ve sníženinách v nivě, včetně napodobení přirozených forem jako jsou stará ramena a tůňe,
- zvětšuje se průtočná kapacita koryta nebo nivy uvnitř zástavby nebo těsně pod ní,
- pokud jsou pro to podmínky, doporučuje se zadržet část povodňových vod v polosuchých poldrech.

Katastrofického rázu mohou dosáhnout tzv. bleskové povodně, což jsou povodně, způsobené rychlým stoupnutím hladiny v korytech malých toků, ať již stálých nebo občasných, s malými povodími o rozměrech od několika km² do několika desítek a s větším spádem. Takové povodně vznikají náhle a rychle odeznívají. Mohou však způsobit značné škody na majetku a výjimkou nejsou lidské oběti.

Nejtypičtější jsou bleskové povodně v aridních a semiaridních oblastech Severní Ameriky, Afriky a jv. Asie, kde mohou mít značné geologické důsledky. Proud vody totiž mohutně eroduje, vymílá stružky a koryta a naplňuje velké objemy materiálu do vyústění toků.

V českých klimatických podmínkách jsou takové události též poměrně hojné a nebezpečné. Kromě mohutných a rychlých srážek za krátkou dobu (např. desítky mm za hodinu) je viníkem i malá možnost vsakování vody. Rizikové jsou odlesněné plochy bez vegetace, nejhorší pak holé hlinité plochy s vyschlým povrchem. Řadu skuteč-

ně katastrofických událostí z naší republiky popisují Hrádek a Ondráček (1995) a Kakos (1976 – 1994). Tabulku posledního autora, mírně upravenou, zaznamenávající některé mimořádné události, připojujeme (tabulka 9).

Tabulka 9: Některé katastrofické bleskové povodně v Česku (podle Kakose 1995, upraveno)

Datum	Místo	a – množství srážek b – doba trvání deště a povodně	Následky
29. 7. 1979	Jílovský potok	a – 100–150 mm	
4. 6. 1980	okolí Litoměřic		místní záplavy, škody v milionech korun
12. 7. 1984	od j. Čech po Šumpersko	a – 105 mm b – 2 až 3 hodiny	mimořádná eroze a sedimentace. V Litomyšli bylo náměstí zaneseno půlmetrovou vrstvou-kalu. Škody v miliardách korun
15. – 16.8. 1985	sz. Čechy	a – 104 mm	velké škody na chmelnicích
19. 6. 1986	okolí Pelhřimova	a – 98 mm b – 1 hodina	protržení hráze rybníka a zaplavení Pelhřimova
26. – 27.6. 1987	okolí Benešova a Kutné Hory oblast Zlína a Vsetína	a – 94 mm b – hodiny b - 3 hodiny	na Benešovském potoce třísetletá povodeň dvoumiliardové škody
1. 7. 1987	Jílovský potok	a – 195 mm b – 90 minut	jedna z nejničivějších událostí, kromě mohutných srážek podmíněno charakterem reliéfu
24. 7. 1988	j. část Prahy	a – 37mm b – 10 minut	
21. 5. 1989	okolí Chomutova	a – 110mm b – 2 hodiny	mimořádně silná eroze bramborových polí, tvorba erozních strží
2. 8. 1991	Šumava	a – 162 mm	nejsilnější příválový déšť v celé republice v roce 1991

Z údajů v tabulce 9 vyčteme, že bleskové povodně po příválových deštích ohrožují prakticky celé území republiky. Trvání příválového deště se počítá v desítkách minut až několika málo hodin, zatím co srážkový úhrn je často nad 100 mm.

Rizika rychlých přírodních poklesů povrchu

K rychlému poklesu zemského povrchu vlivem přírodních procesů sice dochází, avšak takové případy jsou mnohem vzácnější než poklesy způsobené lidskou činností. V některých typech geologických terénů však musíme brát vážně i rizika způsobená přírodními procesy. Jsou to především oblasti krasové a na druhém místě pískovcové.

Kras je obecný název pro soubor povrchových i podzemních tvarů v oblastech, které jsou tvořeny převážně vápenci a dolomity. Rozpouštěním hornin i mechanickou erozí se v něm vytvářejí stovky různých povrchových i podzemních tvarů. Na povrchu vznikají závrtky, škrapy, slepá údolí, propasti, suťové kužely, kaňony, ponory i vyvěračky. I když se tvary, jako jsou závrtky, obvykle tvoří několik stovek až tisíců let, může v některých případech dojít k propadnutí povrchu do přírodní podzemní dutiny náhle. Zprávy o kravách, či ovcích, které náhle zmizely v podzemní dutině, nejsou vzácné. Víme, že některé propasti, dokonce zřejmě i Macocha, vznikly propadnutím stropu do jeskyně. K takovým pochodům v minulosti docházelo často a může k nim dojít i dnes. Ne však příliš často. Řícení kamenů v podzemních prostorách může být zaznamenáno jako lokální říťivé zemětřesení.

České krasové oblasti jsou poměrně malé. Dokonale vyvinutým krasem, se všemi jmenovanými povrchovými formami, je Moravský kras, geomorfologicky součást Dražanské vrchoviny. V Českém krasu nejsou typické krasové tvary vyvinuty tak dokonale. Ve srovnání s jinými riziky jsou rizika náhlých propadnutí povrchu malá. Je jasné, že při jakýchkoli územních plánech i zemědělském využívání je nutno se povrchu se závrtů vyhnout.

Pokud se v některé oblasti, jež není tvořena vápenci a dolomity, vyvíjejí podobné tvary jako v krasu, nazýváme je pseudokrasem, i když tento termín pokládají někteří geomorfologové za zbytečný.

Určitá rizika propadání povrchu jsou v pískovcových terénech, hlavně ve skalních městech různého stupně vývoje. K oddělování skalních stěn, sloupů a pilířů od původně celistvého skalního masivu totiž dochází jak povrchovou erozí, tak erozí podzemní. Pod povrchem se rozšiřují pukliny a mohou vzniknout i větší dutiny. Jejich strop je pak nestabilní a může se zřítit. Rozšíření puklin do strží z povrchu dolů může také být rychlé, ba i zcela náhlé. V českých skalních městech probíhají takové pochody přímo před našima očima. Jejich riziko pro obyvatele je však nepatrné, jelikož jde v obrovské většině případů o chráněné oblasti.

Zcela jiným a daleko vážnějším problémem jsou poddolovaná území. Velký rozsah a vážnost těchto rizik ukazuje již mapa jejich rozšíření. I z posledních let jsou známy případy propadnutí povrchu do starých hornických děl na Karvinsku a Ostravsku, k dispozici máme řadu studií i map revírů. Hodnocení rizik, vyplývajících z poddolování, však již nepatří mezi tyto řádky, jelikož jde o pochody nejen ovlivněné, nýbrž způsobené lidskou činností. Proto tyto problémy uvádíme v následující samostatné kapitole.

Rizika umělých poklesů povrchu vlivem poddolování

Hornická činnost je spojená s hlubinnou těžbou surovin. V horninovém masivu se odebírá nerostná surovina, hlušina nebo i voda a zároveň se do vydobytých prostor vnáší jiné hmoty jako jsou zakládky, výztuže apod. Tato činnost trvá zpravidla po celou dobu životnosti ložiska. Reakcí na vydobyté objemy hmot z podzemí je trvalá deformace povrchu, kterou obecně nazýváme poklesy povrchu způsobené poddolováním. Vlastní fyzikální mechanismus těchto propadů bývá často podobný tomu, jaký je u poklesů vyvolaných procesy přírodními.

Vývoj poklesů je závislý na několika faktorech:

- na geologické struktuře ložiska (typ struktury a složitosti ložiskové výplně),
- morfologii ložiska (úklon a mocnosti ložiskové výplně, členitost ložiska, fyzikálně mechanické vlastnosti doprovodných hornin),
- hloubce dobývání,
- vlastnosti hornin nad dobývaným ložiskem (stupeň rozvolnění horninového masivu, fyzikálně mechanické vlastnosti hornin),
- technologie dobývání (komorování, stěnové poruby atd., používání zakládky, rychlost dobývání suroviny atd.).

Je dobře si uvědomit, že charakter poddolování je odlišný podle toho, jsou-li dobývaná ložiska sedimentárního původu, jak tomu bývá u ložisek nerudných surovin a uhlí, nebo jde-li o ložiska rudná.

Pro ložiska nerostných surovin sedimentárního původu jsou typická deskovitá tělesa vodorovně, šikmo, případně i strmě uložená. Platí tu obecně, že plocha ložiska je mnohonásobně vyšší než mocnost ložiskové polohy. Typickým příkladem mohou být ložiska uhelná, ložiska manganová, sedimentárních železných rud, některé uranové rudy (u nás např. Hamr) nebo ložiska sádrovce. Specifikou tohoto typu ložisek bývá též mnohonásobné opakování ložiskových poloh – např. uhelných slojí, které jsou postupně odtěžovány. Z hlediska poklesů povrchu jsou důležité mocnost vrstev a fyzikálně mechanické vlastnosti horninového masivu v úseku mezi dobývaným ložiskem a povrchem. Rozdíl v geologickém charakteru ložisek a v technologii jejich dobývání se projeví následně v rozdílech poklesů vlivem poddolování.

U mělce uloženého ložiska, tj. do hloubky cca 100 – 150 m, jakým je u nás jihomoravský lignitový revír s více méně horizontálním uložením těžené suroviny, se poklesy se začnou projevovat bezprostředně po zavalení vydo-

bytého prostoru. V závislosti na použité dobývací technologii vzniká pokles s trychtýřovitými propadlinami (tzv. pinkami). V případě komorového nebo chodbicového dobývání pak vzniká souvislá poklesová kotlina.

Na jiných ložiskách, rovněž v hloubce kolem 100 – 150 m, která jsou např. v ostravsko-karvinském uhelném revíru na lokalitách Landek v Petřkovicích nebo v orlovské vráse, a jež jsou více či méně uložena strmě, nacházíme poklesy podobné těm ve výše zmíněném jihomoravském lignitovém revíru. Po uzavření dolu a ukončení jejich větrání tam však navíc často dochází k trvalému výstupu důlních plynů bohatých metanem na povrch, což je další velmi rizikový faktor.

U hluboce uložených ložisek (asi od 100 – 150 m až do hloubky cca 1100 m), jako je např. ostravská část ostravsko-karvinského revíru s uhelnými slojemi více či méně horizontálně, ale i strmě uloženými, se poklesy povrchu začnou projevovat se zpožděním několika měsíců až několika let po zavalení vydobytého prostoru. Dosahují zhruba do 10 m. Stabilizace a doznívání těchto poklesů může trvat řádově i desítky let. Vznikají tam také souvislé poklesové kotliny, jež se postupně zatápí vodou, časté jsou změny hladiny mělkých podzemních vod, stejně jako změny průběhů vodních toků, destrukce domů, komunikací apod. Konce těžby a ukončení větrání dolů jsou, stejně jako ve výše uvedených případech, spojeny s výstupem metanu na povrch (typické zvl. pro Ostravsko).

V karvinské části ostravsko-karvinského revíru nebo v kladenském revíru bývá zavalování provázeno destrukcí mocných souvrství svrchnokarbonských pískovců a lokálními podzemními i povrchovými otřesy. Zde také vzniká inverzní reliéf povrchu, kde původní výška povrchu je zachována jen v okolí jam (v rozsahu jejich ochranných pilířů) a okolní terén poklesá až o několik desítek metrů. Na Karvinsku, kde jsou změny nejintenzivnější, lidé postupně vytvářejí novou krajinu, pro kterou je charakteristická rekultivace rozsáhlých poklesových kotlin.

V některých případech je zcela nutné omezovat poklesy na minimum. To je případ sedimentárních uranových ložisek severočeské křídové pánve, které jsou v souvrství horizontálně uložených zrudněných pískovců v hloubce do cca 200 m. Aby byly chráněny zdejší vodonosné vrstvy, jež jsou významnou zásobárnou podzemní pitné vody, poklesy musely být redukovány. Byla tam proto důsledně použita technologie zakládek, to jest vyplnění vytěžených důlních prostor horninovým materiálem.

Poklesy u mělce uložených rudných ložisek (do hloubek cca do 100), se strmě nebo šikmo uloženými žilnými nebo nepravidelnými rudnými tělesy (např. Zlaté Hory), se prakticky neliší od deformací, jež známe u ložisek deskovitého typu. Projevují se také bezprostředně po zavalení vydobytého prostoru a jsou tam charakteristické trychtýřovité propadliny, sledující průběh a směr dobývání.

Hodně odlišné jsou poklesy u rudných ložisek uložených hluboko (od 100 m až do zhruba 1000 m). Známe je u nás z hlavně z Příbramska, Jáchymovska, Rožné, Zlatých Hor, Horního Benešova, Rýmařova a Kutné Hory. Jsou to ložiska šikmo až strmě uložená, obvykle v komplexu metamorfovaných nebo vyvřelých hornin. Deformace povrchu nastávají se zpožděním několika měsíců až desítek let po zavalení vydobytého prostoru. Úplná stabilizace a doznívání poklesů povrchu pak probíhá až během dalších desetiletí. Na povrchu jsou typické strmé propadliny, sledující vydobyté části ložiska. U popisovaných rudných ložisek je zavalování v závislosti na charakteru horninového masivu (jde vesměs o velmi pevné a křehké horniny) provázeno, podobně jako u uhelných ložisek, destrukcí masivu za současného vzniku lokálních seismoakustických jevů, projevujících se v dole a na povrchu jako otřesy (např. na Příbramsku).

Problémy minimalizace účinků poddolování se zabývá specializovaný obor „Vlivy poddolování a ochrana životního prostředí v hornické krajině“. Má významnou úlohu v hornické činnosti a v činnosti prováděné hornickým způsobem, neboť přispívá v duchu horního zákona k racionálnímu dobývání ložisek nerostných surovin.

Objektivně sledovat geodetickými metodami účinky poddolování na objekty i na hornickou krajinu je úkolem důlních měřičů. Účinky poddolování se vyhodnocují a na základě výsledků jejich analýzy a odvozených teoretických zákonitostí lze pak předvídat pohyby a deformace povrchu pro projektované dobývací práce.

Při těžbě ložisek nerostných surovin se u nás postupně zavádí nový vztah, který můžeme definovat jako „koexistenci těžby a života v hornické krajině“. Koexistence znamená současné spolužití a je podle našeho názoru jedinou možnou formou všech budoucích aktivit v těžebních oblastech České republiky. Blíže o těchto otázkách je pojednáno v již výše zmíněné knize Z. Kukala a F. Reichmanna „Horninové prostředí České republiky“ (Česká geologická služba, 2000).

V krajině naší republiky můžeme pozorovat celou řadu různých zásahů způsobených hornickou činností počínaje třeba sotva zřetelnými propady po starých báňských dílech až po rozsáhlá těžbou devastovaná území. Proto má u nás své mimořádné místo registrace poddolovaných území. Česká geologická služba – Geofond (www.geofond.cz), jež je organizační složkou státu a resortní organizací MŽP, vede v souladu s ustanovením § 17 zákona č. 62/1988 Sb., o geologických pracích, v platném znění, přehled území se zjištěnými poddolovanými územími. Tyto objekty jsou řazeny mezi tzv. území se zvláštními podmínkami geologické stavby, které mohou mít vliv na vypracování územně plánovací dokumentace a na životní prostředí. Tato organizace poskytuje údaje o geologických rizicích orgánům státní správy, samosprávy a orgánům územního plánování a územního řízení pro zpracování územně technických podkladů.

Vlastní registr poddolovaných území byl vytvořen v letech 1983 – 1985. Postupně byly sledované údaje převedeny do jednotné databáze a zákresy i údaje jsou průběžně aktualizovány z odborných posudků a zpráv. Česká geologická služba – Geofond zpracovává a bezplatně distribuuje „Mapy poddolovaných území“ orgánům státní správy a samosprávy pro potřeby územního plánování.

Jednotlivé zákresy poddolovaných území jsou zobrazeny jako body nebo plochy (polygony).

Bodové zákresy představují buď jednotlivá důlní díla (např. šachta, krátká štola nebo štola s neznámým průběhem a rozsahem chodbice) nebo větší plochy, v rámci kterých leží důlní díla, jejichž přesnou polohu a rozsah nelze z použitých podkladů určit.

Polygony zahrnují plochy se známým nebo předpokládaným výskytem hlubinných důlních děl, vzniklých za účelem těžby nebo průzkumu nerostných surovin. Důlní díla jsou v rámci ploch rozložena nepravidelně, v různých hloubkách a mohou tam být i zcela nepoddolované úseky. Možné postižení terénu hornickou činností je tedy většinou podstatně menší než je rozsah zákresů a pro konkrétní lokality je nutné vyžádat si u České geologické služby – Geofondu upřesnění.

V registru nalezneme základní informace o místech, kde byly v minulosti provozovány hlubinná těžba nebo průzkum nerostných surovin. Registr také upozorňuje na území, kde mohou vznikat propady nebo jiná nebezpečí vyplývající z existence podzemních prostor. Údaje se využívají zejména pro účely tvorby územního plánu, vyjadřování k investiční výstavbě, zajišťování projevů starých důlních děl a zpracování komplexních informací o území. Zdrojem dat jsou odborné posudky a zprávy, báňské mapy a další dostupná dokumentace.

Rizika horninové radioaktivity

Nepříznivý vliv radioaktivity na lidské zdraví je známý, mnohokrát popisovaný v odborných lékařských pojednáních. O jejím riziku se dozvídáme i ze sdělovacích prostředků, denního tisku, filmu a fantastické literatury. Největší riziko z radioaktivního zamoření vyplývá z lidské činnosti, např. haváriích jaderných elektráren, selhání jaderných zařízení v různých druzích průmyslu, samozřejmě i z výroby a použití jaderných zbraní. V pozadí všeho je však radioaktivita v horninách, zeminách, půdách a vodách, tedy v geologických materiálech.

Celá Země je přirozeně radioaktivní. Radioaktivní byly již původní kosmické materiály, ze kterých se zemské těleso vytvořilo. Tvrdí se, že rozpad radioaktivních prvků vytváří přibližně polovinu tepla, které je motorem základních geologických procesů, počínaje deskovou tektonikou a konče geotermální energií.

Radioaktivní záření, posouzené z lékařského hlediska, ničí buňky v těle organismů. Při dávce, přesahující zhruba 0,5 až 1,0 Sv jsou již buňky tak postiženy, že se to projeví na funkci organismu a dochází známé „nemoci z ozáření“. Dávka 6 Sv je již smrtelná (Sv je zkratka pro jednotku Sievert, která vyjadřuje účinky dávky radioaktivního záření na organismus, je to tradiční jednotka, jež se dnes používá jen zřídka).

Přírodní radioaktivní prvky v horninách, půdách a vodách jsou zdrojem jaderného záření alfa, beta, gama a záření neutronového. Hlavními zdroji jaderného záření jsou draslík, uran a thorium. Jejich průměrné koncentrace v horninách zemské kůry jsou 2,5 % draslíku, 2 – 3 ppm (jedna částice v milionu neboli mg/kg uranu a 8 až 12 ppm thoria). Tyto prvky mohou tvořit samostatné minerály, ale daleko častěji jsou rozptýleny v běžných horninotvorných minerálech a organických hmotách.

Radioaktivita hornin se u nás nejčastěji určuje měřením záření gama. Celková aktivita gama se znázorňuje jednotkou $\text{nGy}\cdot\text{h}^{-1}$, což je jednotka dávkového příkonu záření gama. Obvykle se symbol této jednotky zjednodušuje a uvádí se prostě jako jednotka Da.

V České republice se měří radioaktivita hornin již od čtyřicátých let, v letech 1957 až 1959 byla letecky proměřena celá republika a řada zájmových oblastí pak ještě detailněji. Výzkumy pokračovaly v dalších letech a jejich výsledkem je radiometrická mapa České republiky v měřítku 1 : 200 000. Mapa je sestavena podle výsledků leteckého i pozemního měření; jejími autory jsou M. Manová a M. Matolín a vydala ji Česká geologická služba. Mapa vyjadřuje radioaktivitu větších horninových celků a potlačuje lokální anomálie. Srovnáme-li mapu radioaktivity s geologickou mapou, pozorujeme, že vysoce radioaktivní jsou granitoidové plutony devonského a karbonského stáří i třetihorní vulkanické horniny. Ze sedimentárních hornin mají zvýšenou radioaktivitu jílovce a jílové břidlice. K nejméně radioaktivním horninám patří ultrabazické magmatity, z metamorfovaných hornin amfibolity, serpentinity a krystalické vápence a ze sedimentů vápence a křemenné pískovce.

Petrologové a mineralogové dovedou odhadnout radioaktivitu hornin podle jejich minerálního složení. Ukážeme to jen na několika příkladech: granity, hlavně ty kyselejší s mnoha živci, jsou bohaté draslíkem, tudíž i thoriem a uranem, proto jsou silněji radioaktivní. Horniny bazičtější, ať již vyvřelé nebo metamorfované, bohatší tmavými minerály amfibolem a pyroxenem, mají draslíku málo, proto je jejich radioaktivita nižší. U sedimentů mají více draslíku jílovce a jílové břidlice, též arkózy s větším množstvím draselných živců. Proto je jejich radioaktivita vyšší než křemenných pískovců a vápenců, jež jsou skoro bez draslíku.

Na radiometrické mapě Česka jsou nápadné tmavě fialové skvrny, značící vyšší radioaktivitu, v místech, kde jsou granitové plutony, a to hlavně ty kyselejší, bohatší živci. Nejnápadnější je trojúhelník mezi Třebíčím a Velkým Meziříčím, dále anomálie na Táborsku, kde jsou vyvřeliny, zvané durbachity, i syenity a kolem Karlových Varů. Naproti tomu žluté až zelené barvy pokrývají skoro celé severní Čechy, kde převládají křídové křemenné pískovce. Drobná fialová políčka a tečky znamenají výchozy třetihorních fonolitových a bazaltových hornin. Zvláště ty první jsou, jak známo, bohaté alkaliemi.

Seřadili jsme jednotlivé typy hornin v pořadí od nejvyšší radioaktivity po střední, až po takové, kde Da – dávkový příkon záření $\text{nGy}\cdot\text{h}^{-1}$ je 120.

Hornina a geologická jednotka	Da
granitoidy typu Čertova břemene ve středočeském plutonickém komplexu	220
granity až syenodiority třebíčského masivu	200
teplický ryolit Krušných hor	160
syenit jihlavského masivu	150
horské granity nejdecko-eibenstockého masivu	150
granity weinsberského a čiměřického typu	140
žumberecké a skutečské granity	140
migmatity podolského komplexu	140
migmatity a ortoruly Orlických hor	140
granity smrčinského typu	135
sedmihorský peň kladrubského masivu	135
granity krkonošsko-jizerského masivu	125
granitoidy tábořského typu	125
ortoruly a migmatity čáslavského krystalinika	120
ortoruly a migmatity svrateckého krystalinika	120
kambrické ryolity a dacity křivoklátsko-rokycanského komplexu	120
silurské graptolitové břidlice Barrandienu	120

Z několika desítek tisíc měření radioaktivity různých hornin na území Česka můžeme vypočítat, že střední hodnota gama záření je přibližně $74 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1}$. Přepočteme-li to na roční efektivní dávkový ekvivalent, dojdeme k hodnotě $0,44 \text{ Sv}$ (Sievertů, viz výše). Je to o málo více, než je uváděná střední hodnota pro celý svět. Světový průměr je podle institutu UNSCEAR $55 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1}$, což odpovídá ročnímu efektivnímu dávkovému ekvivalentu $0,34 \text{ Sv}$. Rozdíl mezi světovým a naším průměrem snadno vysvětlíme tím, že na našem území je mnoho výše zmíněných hornin bohatých draslíkem, uranem a thoriem. Srovnání uvedených hodnot s hodnotami nebezpečnými pro lidské zdraví dokazuje, že horninová radioaktivita je pouze nepatrným rizikem pro lidské zdraví.

Jinak je tomu však u antropogenních objektů, neboť těžba a zpracování nerostných surovin může úroveň radiace značně ovlivnit. Úpravny uranových rud zanechaly po osobě na $1\,500$ hald, odvalů a odkališť. Koncentrace uranu na haldách uranových dolů je v jednotkách a desítkách ppm uranu (mg/kg), jen výjimečně ve stovkách a dokonce tisícovkách ppm. Tyto zvýšené koncentrace jsou důvodem zvýšeného dávkového příkonu záření gama v hodnotách až stovek $\text{nGy}\cdot\text{h}^{-1}$, lokálně až tisícovek. Tyto lokální účinky rychle klesají se vzdáleností od centra anomálie. Objemové aktivity radonu v půdním vzduchu hald uranových dolů se pohybují až ve stovkách, místy i v tisícovkách $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$.

V zájmu hodnocení rizik je kontrolován i jaderný spad, jenž je tvořen radionuklidy, které se uvolnily do ovzduší při řízených a nekontrolovaných jaderných reakcích. Území České republiky bylo kontaminováno jadernými výbuchy v atmosféře, jež proběhly v padesátých letech a hlavně havárií jaderného reaktoru v Černobylu v roce 1986. To jsou však již procesy nespádající do geologických rizik způsobených přírodními procesy.

Z pevných hornin se zvětráváním zdroje radioaktivního záření dostávají do zvětralin a půd. V nich se mísí s produkty jaderného spadu. Pokud je půda obdělávána, radioaktivní zdroje se rozptýlí do profilu o mocnosti několika desítek centimetrů.

Zajímavé je srovnání rizika ozáření z pozemského geologického zdroje se zdroji jinými. Toto porovnání je v tabulce 10.

Tabulka 10: Složky rizika ozáření lidí a jejich porovnání

Složka	%
radon a produkty jeho rozpadu (o radonu pojednává následující kapitola)	41,8
záření gama z geologických zdrojů	14,8
kosmické záření	12,6
lékařská diagnostika	10,6
lékařská terapie	8,9
radionuklidy v lidském těle	7,4
zkoušky jaderných zbraní	3,5
ostatní	0,4

Poznámky: Položkou „ostatní“ rozumíme průmyslové vypouštění radionuklidů, jaderné havárie a problémy při zacházení se zářiči.

Záření z geologických zdrojů je podrobně popsáno výše. Nutno ještě podotknout, že na moři je takové záření nejnižší, ba dokonce nulové, neboť je odstíněno vodou. Kosmické záření je nejslabší pod povrchem Země i pod vodou. V nadmořské výšce 3000 m je zhruba třikrát vyšší, než na zemském povrchu.

Radonové riziko

Termín radon se v posledním desetiletí skloňuje ve všech možných pádech. O radonovém riziku se píše a mluví jak ve zdrojích seriózních, tak bulvárních. Pro některé je radon strašákem, jiní jeho riziko opomíjejí. Jelikož jde

o tak mediálně rozšířenou záležitost, musíme se tomuto problému věnovat i my a snažit se toto riziko objektivně zhodnotit.

Radonové riziko zcela přirozeně navazuje na riziko radioaktivity hornin a půd. Radon je produktem přírodního rozpadu uranového izotopu ^{238}U , který se napřed mění na izotop radia ^{226}Ra a ten pak na radon. Intenzitu rozpadu vyjadřujeme jednotkou Bq (Becquerel), jeden radioaktivní rozpad za sekundu se rovná jednomu Bq. Hodnotu objemové aktivity radonu v půdě vyjadřujeme v hodnotách $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$. V obydlích a jiných objektech bývá objemová aktivita radonu o několik řádů nižší a vyjadřuje se ekvivalentní objemovou aktivitou radonu (EOAR) v $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. V anglosaské literatuře, hlavně v Americe, se koncentrace radonu stále vyjadřuje v jednotkách picocurie (zkratka pCi), i když neodpovídá jednotkám SI. Porovnává se množství pCi v litru vzduchu nebo vody. Takové zdroje uvádějí, že ve venkovním vzduchu máme pouze od 0,1 do 30 pCi/l, s průměrem 0,2. Radonu ve vzduchu v obydlí může sice být méně než 1 pCi/l, ale také až 3000 pCi/l. Radonu v půdním vzduchu je obvykle více, a to od 20 – 30 až do 100 000 pCi/l. V podzemních vodách je v průměru ještě více radonu, a to od 100 až do 3 milionů pCi/l.

Polovina výchozího množství izotopu ^{238}U se přemění v dceřinné produkty za 4,47 miliardy let, je to tedy jeho poločas rozpadu. I plyn radon se dále přeměňuje, a to na izotopy polonia, izotop olova i další produkty. To však již nejsou plyny, ale pevné částice, jež se dostávají do ovzduší jako část aerosolu. Polonium je též radioaktivní a jeho dlouhodobé vdechování může být rizikové. Poločas rozpadu radonu je pouze 3,87 dne.

Radonové riziko pro obyvatele vyplývá z toho, že lidský organismus je ve styku s plynem radonem. Ten pochází z několika hlavních zdrojů, a to z hornin, zemin a půd, což je zdroj primární a z vody i stavebních materiálů, což jsou zdroje sekundární. Radon jako plyn se nehromadí v pevných horninách, které jsou málo pórovité, ale hlavně v zeminách a půdách. Dostává se i do vody, kterou se šíří. Do objektů proniká netěsnostmi a inženýrskými sítěmi. U nás jsou bohužel i případy, kdy jsou starší objekty postaveny z materiálů se zvýšeným obsahem uranu. Mimořádnému riziku byli vystaveni např. obyvatelé Jáchymova a Rynholce (na Rakovnicku), kde byly v objektech překročeny objemové aktivity uranu.

Naše tabulka 10 ukazuje, že radon je nejrizikovější, srovnáváme-li různé druhy ozáření lidí radioaktivními zdroji, neboť se jeho podíl odhaduje na 41,8 % ze všech zdrojů.

Z historických dokumentů můžeme vyčíst, že se již dříve tušilo cosi o nebezpečném radonu. Ve spisech slavného Georgia Agricoly (vlastním jménem Gheorga Bauera) se dozvíme, že se v roce 1548 zmínil o tzv. schneeberské nemoci, kterou prý trpěli horníci z krušnohorského Jáchymova a Schneeberku. I v sousedním Rakousku byla pozorována podobná onemocnění. Později se potvrdilo, že v dolech, kde jsou uranové minerály, je nebezpečně vysoká koncentrace radonu. I když se pokládá za jisté, že radon způsobuje rakovinu plic, není zcela jasné, jak vysoké koncentrace jsou rizikové. Podle údajů ICRP (Mezinárodní komise pro radiační ochranu) se má počítat s možností 100 případů rakoviny na milion obyvatel při celoživotním vystavení působení dceřiných produktů rozpadu radonu v hodnotě $100\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. České epidemiologické studie (Klener 2000, Tomášek et al. 2000) uvádějí, že riziko plicní rakoviny se zvyšuje o 9 až 15 % při expozici působení koncentrace radonu $100\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ v uzavřených prostorách. Podle údajů příslušných orgánů Spojeného království je riziko onemocnění rakovinou plic při celoživotní expozici působením koncentrace radonu v hodnotě $200\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ 3% obyvatel (tj. 30 z tisíce), při průměrné koncentraci, která je v této zemi $20\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, jen 0,3 %. Podle dalších údajů ze Spojeného království je riziko onemocnění rakovinou plic vlivem radonu na druhém místě za kouřením. I čísla jsou k dispozici, 38 000 obyvatel zemře na rakovinu způsobenou kouřením a 2000 až 3500 na rakovinu zaviněnou radonem.

Princip měření objemové aktivity radonu v půdním vzduchu je založen na detekci částic alfa, které vznikají radioaktivní přeměnou radonu. Tyto částice dopadají na stěny scintilační komory, kde vyvolávají světelné efekty, registrované fotonásobičem. Metody měření jsou v České republice sjednoceny.

Radon vzniká radioaktivním rozpadem v minerálech. Většina jej zůstává uzavřena v krystalech a zrnech minerálů, 10 až 50 % uniká do pórů hornin, zemin a půd. Pokud jsou póry vyplněny vodou, radon v ní zůstává, pokud je v pórech jen vzduch, část radonu se může zachytit v jiných částicích a pak zůstane nehybná, dále nemigruje. Atomy radonu se dostanou do pórů rychlostí řádu centimetrů za sekundu. Rychlejší pohyb vyvolává konvekce, způsobená většími rozdíly v teplotě a tlaku. Radon se s půdním vzduchem pohybuje propojenými póry, po trh-

linách a zvodnělých tektonických poruchách ve směru snižujícího se tlaku. Dojde k tzv. komínovému efektu, což je nasátí radonu do objektu.

Pórovitost a propustnost médií jsou hlavním faktorem, ovlivňujícím migraci radonu. Pórovité šterky a písky podporují migraci radonu, jíly působí jako nepropustná bariéra. Radon, směřující k povrchu, se může pod takovou přírodní bariérou nahromadit, pokud je pak stavební činností porušena, je taková porucha hlavní cestou radonu do objektu. Objemová aktivita radonu značně kolísá v závislosti na ročním období, na deštových a sněhových srážkách i na teplotách. Např. po velkých deštích a mrazech se póry v půdě uzavrou a migrace radonu narazí na bariéru.

Zcela základním faktorem, ovlivňujícím radonové riziko, je obsah uranu v horninách. Pro radonové riziko jsou pak též důležité nehomogenity v horninách, jako jsou drčené tektonické zóny, pukliny a trhliny. Na takových místech se objemová aktivita radonu může zvýšit až o několik řádů. Musí se však rozlišovat nehomogenity otevřené od uzavřených. K těm druhým patří pukliny utěsněné druhotným křemenem nebo kalcitem, jež jsou nepropustné pro migraci radonu. V tabulce 11 jsou uvedeny průměrné a maximální zjištěné objemové aktivity radonu v typických horninách České republiky.

Tabulka 11: Průměrné a maximální zjištěné objemové aktivity radonu v typických horninách České republiky

Hornina	Objemová aktivita radonu v kBq.m ⁻³	
	průměrná	maximální
silurské černé břidlice Barrandienu	110	nad 400
durbachity	75	340
granity	70	280
ortoruly	30	115
devonské sedimenty	30	50
fonolity	28	?
pararuly	25	65
triasové sedimenty	25	?
karbonské sedimenty	25	50
křídové sedimenty	23	65
ordovické sedimenty	23	110
čtvrtohorní spraše	20	80
čtvrtohorní glaciáluální sedimenty	20	30
sedimenty říčních teras	20	50
říční sedimenty obecně	20	60
permské sedimenty	15	20
paleogenní sedimenty	10	15
neogenní sedimenty	10	18

Z tabulky 11 je patrné, že nad průměr vynikají tři druhy hornin. Na prvním místě jsou silurské graptolitové břidlice Barrandienu, kde je zvýšený obsah uranu vázán na organické látky (obsah organického uhlíku, Corg je v průměru 1 – 2,5 %, místy však dosahuje až 5 %). Na druhém místě jsou durbachity, což je souhrnné pojmenování tmavých granodioritů, syenitů, monzonitů i granitů, tvořících samostatná tělesa, vystupující hlavně ve středočeském plutonickém komplexu a jejichž typické výskyty jsou např. na Táborsku a Třebíčsku. Na třetím místě jsou granity, nejtypičtější plutonické horniny Českého masivu. Nejnižší objemovou aktivitu radonu mají mladé, třetihorní sedimenty.

Měříme-li objemovou aktivitu radonu nad tektonickou poruchou, která je drčená, zvodnělá a neutěsněná druhotnými minerálními výplněmi, často zjistíme silně zvýšené hodnoty (viz obr. 5). Rozdíl může být i v jednom

řádu, někdy i vyšší. To jsou zřejmě jediné případy, které mohou vědecky odůvodnit existenci tzv. geopatogenních zón, jež jsou obaleny smyšlenkami a fantaziemi mystifikátorů, i těch, kteří dovedou své klamavé reklamy dobře prodat.

V České republice máme k dispozici mapy radonového rizika v měřítku 1 : 200 000. Byly sestaveny podle měření radonových objemových aktivit jednotlivých hornin, podle plošných anomálií obsahů uranu i podle geologických, půdních a hydrogeologických podkladů. Z map můžeme vyčíst, kde by radonové riziko mělo být přednostně zkoumáno a hodnoceno. Byla stanovena obecně i radonová rizika pro jednotlivé bývalé okresy (obr. 2), a to opět na podkladě měření radonu, zjištěných uranových anomálií i kontaminace těžbou a zpracováním uranových rud. Výsledky jsou relativní, hodnocené stupnicí 1 až 7 (od nejnižšího po nejvyšší riziko). Z mapy vystupují barevně tři bývalé okresy s nejvyšším rizikem, a to Příbram, Karlovy Vary a Žďár nad Sázavou. Vysvětlení je jasné: Příbramsko je oblastí uranového zrudnění s okrajovými částmi středočeského plutonického komplexu. Kolem Karlových Varů jsou též uranové zrudnění a velké plochy variských granitů. Pro bývalý okres Žďár nad Sázavou platí totéž. Bývalé okresy s nejnižším rizikem jsou velká část Vnějších Západních Karpat s mladými sedimenty, také Brněnsko a Znojemsko, v Čechách pak ty oblasti, kde jsou křídové sedimenty, hlavně Mladoboleslavsko, Jičínsko, Nymbursko i okolí Prahy.

Musíme však upozornit, že naše mapy radonového rizika i hodnocení bývalých okresů ukazují na obecnou situaci. Lokální poměry mohou být místy odlišné. Buď zvýšené radonové riziko ovlivňuje geologické podmínky (drcené zóny, výstupy podzemních vod s vyšším obsahem radonu, drobná tělesa bohatší radioaktivními minerály) nebo podmínky antropogenní (zvýšené nasávání radonu do objektů, malé odvětrávání).

V Česku probíhá již po řadu let tzv. radonový program, který je koordinován Meziresortní radonovou komisí (MRK) při Ministerstvu životního prostředí. Tato komise sdružuje odborníky ze státních zdravotnických, geologických i stavebních institucí, ze zástupců státní správy i zástupců soukromých firem.

Jsou stanoveny limity radonového rizika v geologickém podloží, objektech a ve vodě do nich dodávané.

Limity objemové koncentrace radonu v půdním vzduchu jsou tyto:

radon v půdním vzduchu v kBq.m⁻³, propustnost půdy			
Riziko	nízká	střední	vysoká
nízké	pod 30	pod 20	pod 10
střední	30 – 100	20 – 70	10 – 30
vysoké	nad 100	nad 70	nad 30

V posledních letech byly vypracovány stovky posudků a stanovisek podle měření objemové aktivity radonu v geologickém podloží, půdě i objektech. Měření byla často soustředěna na „podezřelá“ místa, kde docházelo k těžbě a zpracování uranových rud nebo kde se horniny a zeminy se zvýšenou radioaktivitou používaly k úpravě vozovek či dokonce jako stavebního materiálu. I z médií jsou známy případy sídel v blízkosti hald po těžbě rud i uhlí. Ve většině případů nejsou objemové aktivity radonu nad limitem, někdy však nevhodné stavební úpravy mohou aktivitu zvyšovat.

Zcela nedávno vypracovali naši odborníci novou metodiku stanovení radonového indexu pozemku. Vychází z posouzení hodnot objemové aktivity radonu (²²²Rn) v půdním vzduchu a z posouzení propustnosti zemin pro plyn. Čím vyšší je objemová aktivita radonu v půdním vzduchu a čím jsou vrstvy zemin propustnější, tím vyšší je pravděpodobnost, že do objektu může pronikat nebezpečné množství radonu.

Radonový index pozemku (RI) vyjadřuje obecně radonový potenciál daného pozemku, radonový index stavby (RB) vyjadřuje míru potřebné stavební ochrany stavby proti vnikání radonu z geologického podloží. Metodika upravuje dosud platné metody Kategorizace radonového rizika základových půd z roku 1994. Metodika je v souladu s příslušnými ustanoveními zákona č. 18/1997 Sb, o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (Atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a s prováděcí vyhláškou SÚJB č. 307/2002 Sb, o radiační ochraně. Firmy a fyzické osoby, které stanovují radonový index, musejí mít podle odpovídajících ustanovení výše uvedeného zákona povolení k této činnosti od Státního úřadu pro jadernou bezpečnost.

Z evropského a světového hlediska je Českou republiku možno považovat za mírně rizikovější z hlediska nebezpečí radonu než je průměr. Jak jsme již popsali v předchozí kapitole, je to způsobeno větší rozlohou kyselých žul a metamorfovaných hornin se zvýšenými obsahy uranu, thoria a draslíku. Proto jsou různé aspekty radonového nohorizika u nás ošetřeny vládními nařízeními i zákony. Důležité je usnesení vlády č. 538 z 31. března 1999 o Radonovém programu České republiky. Předcházela mu řada dalších nařízení usnesení a zákonů. Studium a hodnocení radonového rizika se zabývá řada organizací. Vedoucí úlohu má Státní ústav pro jadernou bezpečnost (SÚJB). Státní ústav radiační ochrany (SÚRO) je odpovědný za hodnocení vlivu radiace na obyvatelstvo a rozdělování prostředků na ochranu před ním. Česká geologická služba vyvíjí metody výzkumu obsahu radonu převážně v geologickém podkladu, sestavuje mapy radonového rizika a spravuje radonovou databázi. S Českou geologickou službou spolupracuje při rozvoji metod a výběru referenčních lokalit Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy. Česká technická univerzita se zabývá výzkumem protiradiačních opatření. Soukromé firmy, zabývající se výzkumným a technickým programem, jsou sdruženy v Asociaci radonové riziko.

Naše stručné zhodnocení radonového rizika, založené převážně na geologických podkladech, dokazuje, že radon nemusí být takovým strašákem, jakým pro řadu obyvatel je. Neznamená to ovšem, že můžeme takové riziko podceňovat nebo na něj dokonce zcela zapomínat. Musíme se smířit s tím, že přehnaného strachu z radonu využívají různé firmy, doporučující své výrobky k bezpečné ochraně. Přečtěme si např. část textu z přílohy MF Dnes Reality, ze dne 20. dubna 2005 (podepsané indexem pep): „Půda, na které se v České republice stavějí nové domy, je podle odborníků prakticky neustále ve větší či menší míře vlhká, což závisí na poloze parcely a na geologickém podloží. Dalším specifikem české kotliny je poměrně velký výskyt radioaktivních plynů, radonu v podloží. Tyto plyny v případě, že proniknou do budovy a v ní se při nedostatečném větrání hromadí, mají špatný vliv na zdraví obyvatel domu. Proto je nesmírně důležité věnovat pozornost ochraně stavebních konstrukcí a vnitřních prostor proti oběma vlivům.“ V dalším textu je pak doporučován speciální výrobek, který zde samozřejmě nemůžeme jmenovat, abychom se nedopustili skryté inzerce.

Rizika chemického znečištění prostředí přírodními procesy

Jsou známy takové případy chemického znečištění prostředí, že je můžeme nazvat katastrofou. Ty jsou však způsobeny lidskou činností, jako jsou těžba a zpracování kovů, průmyslová výroba a stavební činnost. Některé přírodní procesy, které v tomto případě nazýváme procesy geogenními, mohou k takové chemické kontaminaci přispívat. Mezi takovéto procesy patří:

- 1) Rychlé srážení nových minerálů a jejich asociací z horkých i studených vod.
- 2) Zrychlené rozpouštění hornin, zejména chloridů, síranů a karbonátů, vznik krasových a jiných dutin.
- 3) Zrychlené zvětrávání hornin vlivem anomálních meteorologických a klimatických podmínek, jako jsou dlouhé zimy, mimořádně teplá a vlhká období.
- 4) Mimořádné obohacení hornin, zemin a půd některými prvky následkem vulkanických a postvulkanických procesů. Mezi ty postvulkanické řadíme třeba působení horkých vod a plynů.
- 5) Mimořádně silný atmosférický spad rozložitelného cizorodého materiálu.
- 6) Mimořádné obohacení půd, zemin a hornin organickými látkami vlivem katastrofického odumírání vegetace.
- 7) Zvýšená radioaktivita vlivem anomální přírodní koncentrace radioaktivních minerálů, spojená s emanací radonu.

Všechny jmenované pochody v přírodě probíhají, ale těžko můžeme jejich výsledky na naše území nazvat rizikovými nebo dokonce katastrofickými. Výjimkou je jen poslední, sedmý, týkající se radioaktivity a radonu, to jsou však rizika popsána v samostatných kapitolách. Takové případy, k jakým došlo třeba na Islandu nebo v Kostarice, kdy sopečný popel otrávil půdy arsenem, fluorem, kobaltem a sírou tak, že následky byly skutečně katastrofické,

u nás neznáme. Zato známe případy průmyslového znečištění toxickými kovy, což jsou ovšem katastrofy způsobené lidmi. Ty zde neprobíráme a odkazujeme na bohatou literaturu.

Naše tvrzení o tom, že lidská činnost je daleko významnějším faktorem obohacení prostředí rizikovými kovy než přírodní procesy, bylo dokázáno mnoha studiemi. Zde se zmíníme o dvou z nich. První (Lanzy – Mackenzie 1979) srovnává obsah prvků v přírodních a antropogenních atmosférických emisích, druhá (Mezinárodní komise pro ochranu Labe 1998) geogenní a antropogenní koncentrace v sedimentech Labe, Vltavy a Ohře.

Tabulka 12: Srovnání obsahů rizikových prvků v přírodních a antropogenních atmosférických emisích (hodnoty v 10⁸ g za rok)

prvek	horninové a půdní zdroje	vulkanické zdroje	průmyslové zdroje
Pb	50	8,7	16 000
Hg	0,3	0,1	40
As	25	3	620
Ni	200	83	600
Cd	2,5	0,4	40
Cu	100	93	2 200
Zn	250	100	7 000
Ag	0,5	0,1	10
V	500	150	1 000
Co	40	30	24

Tabulka 13: Procento prvků geogenního (přírodního) původu z celkového obsahu prvků v sedimentech Labe, Vltavy a Ohře

Řeka	Prvek	Procento geogenního původu
Labe (u HradceKrálové)	Cd	12
	Hg	7
	Pb	34
	Zn	19
	Ag	9
	As	83
Vltava (dolní tok)	Cd	35
	Hg	11
	Pb	57
	Zn	27
Ohře (dolní tok)	Cd	27
	Hg	10
	Pb	25
	Zn	7

Čísla v tabulkách 12 a 13 jsou více než názorná a dokazují poměrně malý vliv přírodních procesů na kontaminaci prostředí rizikovými prvky ve srovnání s následky lidské činnosti. Pouze u některých rizikových prvků překvapuje dost velké procento, připadající na přírodní (geogenní) procesy. Podle tabulky 12 je to především kobalt, následovaný vanadem. Podle tabulky 13 je až neuvěřitelných 83 % arsenu v labských sedimentech přírodního původu.

Riziko globálního oteplování

Na téma globálního oteplování byly napsány stovky odborných pojednání, tisícovky populárně vědeckých článků a snad desetitisíce článků novinářských. I když jsou i články skeptické, zpochybňující způsoby měření i závery z nich plynoucí, resumé je jednoznačné: Objektivní měření dokázala, že průměrná teplota atmosféry stoupá, v atmosféře roste obsah skleníkových plynů, ledovce tají a hladina oceánu stoupá. Nemůžeme na těchto řádcích přispět novými poznatky, ani podrobněji zhodnotit výsledky dosavadních studií, můžeme však krátce upozornit na skutečná rizika i na to, co se za rizika vydává. Celý problém rozdělíme na problémy dílčí v tom smyslu, že za rizika se pokládá:

- a) Tím, že roste obsah skleníkových plynů, hlavně oxidu uhličitého v atmosféře, stoupá průměrná teplota. V tom spočívá zvýšené riziko atmosférických poruch, rozšíření aridních oblastí na jedné straně a oblastí s mimořádnými srážkami na straně druhé. Z toho by vyplývalo porušení ekosystémů na zemském povrchu a ovlivnění potravních řetězců.
- b) Totéž se může odehrát v oceánu, neboť roste teplota povrchových vod. Zvětšování objemu oceánských vod i tání antarktického a grónského ledovce vede k stoupaní mořské hladiny. To by mohlo způsobit změny na geografické mapě světa, posunutí březní čáry do vnitrozemí pevnin a zaplavení mnoha ostrovů.
- c) Takové změny v oceánu mohou změnit proudový systém, který je motorem světového podnebí a počasí. A tím se celý kruh uzavírá.

Předpovědi jsou proto velmi pesimistické a končí přinejmenším varováním, že svým dětem a vnukům zanecháme na Zemi chaos. Nehodnotíme však všechna zmíněná rizika příliš jednoznačně? Abychom takovému jednostrannému pohledu zabránili, musíme k A říci i B:

Ad a) Oxid uhličitý v atmosféře je součástí koloběhu tohoto plynu mezi atmosférou, oceánem a vegetací. Mezi atmosférickým a oceánským CO_2 je rovnováha, oceánská voda plyn pohlcuje, rozpouští a používá k stavbě vápnitých schránek organismů. Oceánská cirkulace roznáší oxid uhličitý do hlubinných vod, které jsou jeho obrovskou zásobárnou. Jak oceán, tak vegetace reagují na vypouštění obsahu oxidu uhličitého do atmosféry se zpožděním, proto je těžké předpovědět, jak jeho obsah bude v budoucnu stoupat. Horší scénář počítá se stoupaním obsahu CO_2 v atmosféře do roku 2100 až na 971 ppm (mg/kg), ten optimističtější za stejné období „jen“ na 478 ppm.

S růstem průměrné teploty není situace též tak jednoznačná. Máme totiž přírodní klimatické cykly, fungující po celou dobu geologické historie. Předpokládá se totiž, že jsme právě dnes v teplejším období poslední doby ledové a klima by mělo pomalu chladnout. Do jaké míry převládnu lidské faktory nad přírodními doposud jen hádáme.

Ad b) Na 2000 limnigrafických stanic po celém světě registruje pohyby mořské hladiny. Naprostá většina z nich zaznamenala stoupaní, a to různou rychlostí. Vypočteme-li průměr, výsledek je 0,7 mm za rok. Hladina tedy stoupá a bude stoupat i nadále. Jde o to, jak se s tím příroda a člověk vyrovnají. Některé přírodní procesy se útoku oceánu brání. Na plochem pobřeží se tvoří kosa, valy a hráze, které chrání přímoří. Ostrovy, chráněné bariérou útesů z živých korálů, se brání též. Útesy totiž rostou do výšky přibližně stejně rychle, jak stoupá hladina oceánu, někdy dokonce rychleji. I člověk se již brání. Stavba hrází, vlnolamů a jiné technické zásahy ochrání obyvatele přímořských krajin, takže mnohé apokalyptické předpovědi zůstanou jen populárními vizemi. Riziko stoupaní hladiny je totiž v něčem jiném, jak popíšeme na následujících řádkách.

Ad c) Celý problém spočívá v systému Golského proudu, přesněji v proudu Severoatlantském. Ten se štěpí v Atlantiku na několik větví, z nichž hlavní omývá břehy Velké Británie a Skandinávie a dostává se do Severního ledového oceánu. Severní větev proudu se stáčí k Islandu, jižní k Iberskému poloostrovu a splyne s proudem Kanárským. Důležité je, že celý tento proudový systém nese teplou vodu k Evropě na sever a tak ji ohřívá. Bohužel zjistily nedávné expedice, že proud slábne a navíc je stlačován k jihu. V Atlantiku se drobí na řadu menších vírů, které vyznívají. Za posledních 30 let se osa proudu posunula o 300 km na jih. Je to vývoj, který může být kritický pro celou Evropu. Bude-li vývoj pokračovat stejným tempem, ochladí se severní Evropa za několik desítek až stovek let. Příznivé podmínky pro návrat doby ledové by byly na spadnutí. Jak do vývoje zasáhnou lidé a jiné přírodní podmínky, to je předmětem dalších studií.

Připojíme ještě jeden aspekt, který bývá často podceňován. O metanu jako skleníkovém plynu se totiž mluví a píše daleko méně než o oxidu uhličitém. Přitom je metan při zadržování tepla daleko účinnější. Podle současných výpočtů je asi 60 % unikajícího metanu výsledkem lidské činnosti, má tedy připadnout 40 % na zdroje přírodní, najmě únik z mokřadů, trvale zmrzlých půd i třeba činnosti termitů. Zapomíná se však na obrovský zdroj metanu v hlubokomořských sedimentech, kde je pod povrchem dna v podobě nestabilních pevných uhlohydrátů a odkud uniká mořskou vodou do atmosféry. Proti oxidu uhličitému má ovšem metan značnou výhodu v tom, že jej lze využít jako paliva a jeho zachycování je v zájmu mnoha zemí. Modelové výpočty Americké agentury pro životní prostředí naznačují, že snížení emisí metanu o 50 mil. tun uhlíkového ekvivalentu do roku 2015 by mohlo podstatně přibrzdit globální oteplování (Environmental Science and Technology, 2004, 20, 391).

Rizika hypotetická

Pod tímto zdánlivě nejasným pojmem rozumíme taková rizika, která nepokládáme za vážná, avšak jsou založena na prokázaných přírodních, převážně geologických pochodech. Nezabýváme se však riziky čistě spekulativního až chorobně fantastického charakteru, byť se o nich často píše, a to nejen v bulvárním tisku. Mohli bychom jmenovat třeba stažení do černé díry, návštěvy nepřátelských mimozemšťanů, zmizení v bermudském či jiném trojúhelníku, vyhynutí lidské civilizace vlivem neznámé zhoubné energie, různé zásahy nadpřirozené moci apod.

K rizikům, z kterých sice větší strach mít nemusíme, ale platí pro ně oblíbené „není šprochu, aby na něm nebylo pravdy trochu“, které posoudíme pokud možno objektivně, ale krátce, patří: zrychlená mořská abraze, pády nebeských těles, zmizení geomagnetického pole Země a všechna možná další rizika vyplývající z globálního oteplování.

Uvidí naše děti z Krkonoš moře?

Pod tímto atraktivním titulem, který jsme ostatně přejali z médií, rozumíme rychlou mořskou abrazi, která by mohla rozšířit moře tak rychle, že by se jeho hladina zanedlouho objevila v předpolí našich hor.

To, že mořský příboj útočí na pobřeží, ujídá z něj pochodem zvaným mořská abraze, je nevyvratitelným faktem. O tom, kde a jak rychle pevnina ustupuje a moře se rozšiřuje, máme tisícovky přesných údajů. Baltské moře, které je nám blízko, útočí na pobřežní horniny Polska, postupuje do vnitrozemí průměrnou rychlostí 2,5 m za rok. Rychlost je to značná hlavně proto, že v cestě příboji jsou převážně měkké čtvrtohorní sedimenty. Severní moře postupuje na některých místech ještě rychleji než Balt. Rekordní údaje jsou známy z Černého moře, kde byl pozorován i dvanáctimetrový postup moře do souše za rok. To však není nic proti Severnímu ledovému oceánu, který eroduje ledovcové sedimenty tak rychle, že dokáže postoupit až o 100 m za rok. Tvrdé horniny odolávají statečněji, skalnatá pobřeží ustupují obvykle rychlostí jen několika centimetrů za rok.

Pro pobřežní oblasti je rychlá pobřežní abraze nepochybně značným rizikem. Ta se ještě zvýší, jelikož stoupání mořské hladiny znásobí sílu příboje. Předpokládaná větší intenzita katastrofických atmosférických událostí, jako orkánů a tropických cyklón, zrychlí též mořskou abrazi. Podle objektivních pozorování jediný hurikán na pobřeží Mexického zálivu dokázal erodovat tolik sedimentů a změnit březní linii tak, jako normální mořské procesy za 100 let.

Naše čísla dokazují, že mořská abraze je jedním z nejrychlejších geologických procesů. Co však k tomu dodáme z hlediska naší geografické pozice? Dovolíme si malou literární odbočku a odvoláme se na Čapkovu Válku s mloky, ve které přírodním pochodům vydatně pomáhají velemloci. Mločí abraze postupovala podle Čapka tak rychle, že se moře dostalo k hranicím Čech za několik let. Jak by to však ve skutečnosti dopadlo bez pomoci mlo-

ků? Je-li vzdálenost od českých hranic k Baltu 500 km a průměrná rychlost abraze 2,5 m za rok, měli bychom mít moře pod Krkonošemi za dobrých 200 000 let. To jsou však opravdu jen teoretické úvahy, které nezapočítávají i vertikální pohyby pevniny ani to, že v cestě by měla abraze nejen měkké mladé sedimenty, ale též starší tvrdé vyvřeliny a metamorfika.

Odpověď na otázku položenou v nadpisu kapitoly tedy zní: „Ani naše děti, ani praděti, ani bůhvíkolikátá následující generace neuvidí moře z Krkonoš“.

Riziko změn magnetického pole Země

Jelikož toto riziko je skutečně velmi a velmi hypotetické, nemusíme zabíhat do podrobností a zájemce odkážeme na speciální literaturu. Podstata faktu je známa, zemské magnetické pole se mění, nejenom, že slábne a zesiluje, ale dokonce mění svou orientaci. Během geologické historie se severní pól přesouval na jih a naopak. Pro geologii má tento proces obrovský význam, magnetický záznam je totiž mnohdy v horninách zachován a proto mohou geofyzikové podle takto „zapečetěné“ paměti hornin určit jejich stáří. Toho využívá geofyzikální obor zvaný paleomagnetická stratigrafie. Proč však píšeme o možném riziku pro lidstvo? To spočívá v tom, že při inverzi magnetického pole dochází k zeslabení, ne-li k úplnému zániku magnetického pole Země. Z geologického hlediska je tato přeměna magnetického pole poměrně rychlá, trvá od 4 000 do 20 000 let, což znamená, že po tak dlouhou dobu by byl zemský povrch bez ochranného krytu magnetického pole. Ten brání přístupu kosmického záření, které má údajně smrtící účinek. Pokud je to pravda, a podle řady výzkumů to pravda má být, zajímá nás, hrozí-li nám v nejbližší budoucnosti taková magnetická inverze a ztráta štítu z magnetického pole. K poslední inverzi došlo před 700 000 lety, k předchozí inverzi před 1,6 milionu let. Zhruba to znamená, že v poslední etapě geologické historie k takovým inverzím dochází zhruba za 700 000 až 900 000 let.

To by ovšem znamenalo, že k další inverzi by mělo dojít zanedlouho, ovšem v geologickém smyslu slova. Jsou tu dokonce další pozorování. Bylo třeba zjištěno, že za posledních 4 000 let se intenzita zemského magnetického pole snížila asi o polovinu. Znamená to, že další inverze je na spadnutí? Odpověď na takovou otázku necháme otevřenou, mnoho geofyziků říká, že ano, jiní však, že ne. Pokud by k takovému pochodu, pro lidstvo možná katastrofickému došlo, nebylo by to zítra, ani pozítří, ale za desítky až stovky tisíc let.

Dopadne na Zemi mimozemské těleso?

Toto riziko veřejnost dobře zná, nejen z bulváru a katastrofických filmů, ale i ze seriózní populárně vědecké literatury a naučných seriálů v televizi. Navíc, riziko pádu nebeského tělesa je neustále vědecky hodnoceno, takže jsme informováni poměrně objektivně.

Víme, že na zemský povrch dopadá z kosmu obrovské množství materiálu. Kosmického prachu, tedy těch nejjemnějších částíček, dopadne na Zemi kolem milionu tun ročně. Ročně též spadne přibližně 500 meteoritů, vážících mezi několika gramy a kilogramy, z toho asi 350 do moře, 150 na souš. To odhadneme podle poměru plochy moře a souše. Z toho jen málo kousků se dostane do rukou vědců, snad jen kolem pěti. Můžeme dále podle počtu pravděpodobnosti vypočítat, že půltunový meteorit spadne tak jednou za měsíc, padesátitunový jednou za 30 let, 250tunový jednou za 150 let a meteorit o váze 50 000 tun jednou za 100 000 let. Pak již jde o tělesa, zvaná asteroidy, jimž naši astronomové říkají planetky. Malá planetka o průměru několika kilometrů by měla dopadnout jednou za 20 až 50 milionů let. V tomto případě již počítáme s extrapolací, neboť z geologické historie známe velmi pravděpodobné dopady velkých těles v intervalech blízkých 28 až 30 milionům let. Musíme ovšem upozornit, že zde mezi geology není rozhodně všeobecný souhlas, někteří z nich pokládají kritické vymírání organismů a jiné

znaky za odezvu mohutného vulkanismu nebo jiných geologických pochodů. Většina geologů však věří, že to, co se odehrálo před 65 miliony let, na geologické hranici mezi křídou a třetihorami, způsobil opravdu pád mimozemského tělesa. Dokonce byl nalezen meteoritický kráter, který by stářím odpovídal, kráter zvaný Chichulub (čti legračně Šišulub) v Yucatanu.

K předposlednímu velkému dopadu došlo přibližně před 17 miliony let, terčem bylo dno Atlantského oceánu u Newfoundlandu. Menší, několikakilometrový projektil vyhloubil kráter Ries mezi Norimberkem a Stuttgartem přibližně před 15 miliony let. S jeho dopadem souvisí vznik vltavínů, skel vzniklých roztavením hornin v místě dopadu meteoritu a vymrštěných do oblasti dnešních jižních Čech a západní Moravy. Velký meteorit dopadl též do Antarktidy před několika tisíci lety.

Jaké je však opravdové riziko pro současné obyvatele? Máme se pádu obávat nebo ne? Bezpochyby riziko zde je a mnozí odborníci je pokládají za největší ze všech geologických rizik. Rozumíme jimi taková rizika, která by byla osudná pro velkou část civilizace, nejen pro omezené oblasti. Proto také astronomové sledují všechny objekty, které se do blízkosti dostanou, vypočítávají jejich dráhu a s úlevou oznámí, že „objekt minul Zemi o tolik a tolik miliónů kilometrů“.

Podle výpočtů intervalů bychom měli být klidní, pokud uplyne mezi velkými pády zmíněných 28 až 30 milionů let, je ještě dost času, neboť poslední velký impakt byl před 17 miliony let. Na to se však úplně spolehnout nemůžeme, jelikož zmíněný interval je průměrem, z ničeho nic mohou dopadnout třeba dvě planetky za milion let.

Nás ovšem musejí zajímat i pády meteoritů, menších těles než planetky. Je známa příhoda, kdy meteorit zasáhl americkou paní Suttonovou na farmě v Arizoně a fotografie její modřiny se dokonce dostala do geologických učebnic.

Je mnoho nedoložených legend o tragičtějším událostech, nejsou však potvrzeny, takže se o nich nemusíme zmiňovat. I z našeho území známe podobné pověsti. Skutečností však je, že známý meteorit v Suchém Dolu u Police nad Metují spadl 16. září 1969 na střechu budovy a prorazil ji. Byl 840 g těžký. Faktem je, že kdyby 70 tun meteoritů v roce 1948 nedopadlo na neobydlený povrch v Sichote-Alinu v tehdejší Sovětské svazu a místo toho na město, byla by to pořádná katastrofa. K ještě větší pohromě by došlo, kdyby tisícitunový meteorit v Nebrasce ve Spojených státech dopadl jen o 50 km dále. A co teprve kdyby známý tunguzský meteorit, který dopadl 30. 6. 1908 na neobydlenou sibiřskou tajgu, padl do obydleného území. To by již byla katastrofa století.

Dnes američtí i japonští vědci simulují pády různě velkých mimozemských těles a odhadují možné škody. Napodobuje se mechanismus impaktu, jsou zkoumány možnosti vychýlení velkých těles z jejich potenciálně nebezpečné dráhy. Je to riziko, které je bráno odborníky vážně, a proto je zařazujeme i do této publikace.

Mezinárodní aktivity ve zmírňování účinků přírodních katastrof

Přírodní katastrofy a pohromy způsobily ohromné ztráty na životech a škody na majetku. V devadesátých letech 20. století iniciovala OSN tzv. Mezinárodní dekádu pro snižování následků přírodních katastrof (DNDR), jež měla pomoci především rozvojovým zemím. Po skončení Dekády byla pod patronací OSN založena Mezinárodní strategie pro snižování katastrof (ISDR). Ta umožnila koordinaci mezi činnostmi vlád, systémem OSN, a ostatními mezinárodními a regionálními organizacemi, včetně těch nevládních. Již během Dekády, v roce 1994, vznikla tzv. Jokohamská strategie pro bezpečný svět, která navrhla způsoby prevence před přírodními katastrofami. Posoudila možnosti snižování jejich účinků a navrhla podrobnější plán akcí ve svém rámci.

Jmenované aktivity byly bezesporu úspěšné a to vedlo k dalším mezinárodním iniciativám. Valné shromáždění OSN schválilo uspořádání Světové konference o snižování katastrof (WCDR) ve dnech 18. – 22. ledna 2005 v japonském Kobe. Ta měla za úkol posoudit úspěšnost Jokohamské strategie za 10 let, navrhnout další aktivity

v duchu závěrů této Jokohamské strategie i podle usnesení Světového summitu o trvale udržitelném rozvoji v roce 2002 v Johanesburku.

Organizačně se na přípravě této velké konference podílelo Japonsko, které si tak chtělo připomenout 10. výročí velkého zemětřesení v Kobe (provincie Hyogo), při které přišlo o život více než 6000 lidí a město Kobe bylo prakticky srovnáno se zemí. Spolupředatelem byla Mezinárodní strategie pro snižování katastrof při OSN (UN International Strategy for Disaster Reduction – ISDR). WCDR ovšem značně nabyla na významu v souvislosti s obrovskou katastrofou způsobenou zemětřesením a vlnou cunami v oblasti Indického oceánu koncem prosince 2004. Právě tato událost ukázala obrovskou zranitelnost některých oblastí světa vůči přírodním katastrofám a upozornila na nutnost, aby se tímto problémem zabývala OSN i vlády a občané všech zemí světa ať již rozvoje, kde bývá dopad přírodních katastrof největší, tak i vyspělých.

Cílem konference bylo zvýšení mezinárodního uvědomění o nebezpečí katastrof, ať již přírodních či způsobených člověkem, nutnosti snížení rizika těchto pohrom, zvýšení podpory aktivit v této oblasti vládami jednotlivých zemí a konečně zlepšení mezinárodní spolupráce v této oblasti.

Celkově se této významné události zúčastnili zástupci 168 vlád, včetně 40 ministrů, 78 specializovaných agencí OSN a 562 žurnalistů a pochopitelně řada odborníků i představitelů nevládních organizací. Česká republika si uvědomila důležitost snižování následků katastrof a vyslala na konferenci WCDR oficiální delegaci, složenou převážně z odborníků z resortů životního prostředí, vnitra, zemědělství a zdravotnictví, kterou vedl ministr životního prostředí L. Ambrozek.

Téma konference bylo velice blízké jak hydrometeorologickým službám, tak i Světové meteorologické organizaci SMO, které hrají významnou roli především při včasném varování před přírodními katastrofami způsobenými extrémními meteorologickými a hydrologickými jevy. Právě tyto katastrofy způsobují více než 80 % škod a ztrát na životech. Konference ukázala důležitost napojení hydrometeorologických služeb do systémů krizového řízení jednotlivých států, jen tak se informace o nebezpečné pohromě dostane včas k ohroženým lidem.

V rámci jednání byl prodiskutován programový dokument WCDR – Budování odolnosti národů a komunit vůči katastrofám: Hyogo Rámcový plán akcí na léta 2005 – 2015. Má sloužit jako rámcový plán akcí na příští desetiletí s cílem zvýšit prevenci přírodních katastrof, zlepšit hlásný systém a znásobit schopnost postižených oblastí se s následky katastrof vyrovnat. Delegáti odsouhlasili nutnost věnovat se nejen problematice přírodních katastrof, ale i těch způsobených činností člověka. To je plně v souladu s názory české strany.

Byla tu též zdůrazněna nutnost přijetí mezinárodních závazků a rámcové spolupráce pro posílení úsilí o snížení následků katastrof v 21. století. Deklarace jednoznačně zdůrazňuje primární odpovědnost států za ochranu životů a majetku občanů v případě pohrom i to, že snižování rizika dopadu katastrof musí být dána priorita v národních strategiích.

Zástupci ČR se zúčastnili i panelu o úloze národních výborů (platform) pro snižování následků katastrof, psychologické podpory v krizovém řízení a obecně i v oblasti včasného varování před pohromami, zejména před povodněmi. Právě povodně jsou daleko nejčastějším druhem pohromy v ČR a rovněž ve střední Evropě. Velmi zajímavé bylo na uvedené konferenci i téma kombinovaných katastrof – přírodních s technologickými, zkráceně nazývanými „natech“, jejichž pravděpodobnost postupně narůstá.

Mezinárodní panel o klimatické změně (IPCC) varuje před pravděpodobnou změnou klimatu v nejbližších desetiletích, která může vést k nárůstu extrémních jevů počasí a tedy i rizika dalších pohrom. Členské státy se proto rozhodly posílit aktivitu Strategii ISDR ke zvýšení „odolnosti“ národů i komunit na nižších úrovních vůči katastrofám a pohromám. Proto je třeba splnit tyto hlavní cíle:

- podstatně snížit ztráty na životech a majetku při pohromách i jejich sociální, ekonomické a environmentální dopady od malých obcí až po celé státy,
- integrovat úvahy o riziku pohrom do politiku a plánů udržitelného rozvoje od místní samosprávy až po úroveň vlády,
- vytvořit silné instituce, mechanismy i kapacity na všech úrovních, které povedou ke zvýšení odolnosti vůči nebezpečným jevům a pohromám.

V Česku byl zřízen Český národní výbor pro omezování následků katastrof i regionální uskupení výborů CEUDUIP (Středoevropské Forum pro snižování katastrof). Ředitel Českého hydrometeorologického ústavu

Ing. Ivan Obrusník, DrSc., je předsedou Českého národního výboru pro omezování následků katastrof a Národního klimatického programu. Aktivita Českého národního výboru pro omezování následků katastrof (ČNVONK) vyplývají z programů jeho periodických zasedání a jsou publikovány na internetových stránkách Českého hydro-meteorologického ústavu (www.chmi.cz/katastrofy/).

Současná filozofie a politika na snížení počtu katastrof a jejich následků se vyvíjela hlavně z hlediska krizových situací, způsobených člověkem, včetně možnosti teroristických útoků. Během vývoje se však objevily i reakce na přírodní katastrofy geologického charakteru. Řízení bezpečnosti se vyvíjelo zhruba v tomto sledu:

- 50. léta – civilní obrana jako ochrana před jaderným útokem,
- 60. léta – ochrana před přírodními katastrofami. V té době totiž došlo k obrovskému zemětřesení na Aljašce a katastrofálním povodním jinde v USA,
- 70. léta – tvorba protipovodňových plánů,
- 1977 – intenzivní výzkum zaměřený na snižování škod při zemětřesení,
- 1978 – byla ustavena agentura FEMA (Federal Emergency Management Agency), která zpracovávala metody ochrany proti přírodním pohromám, proti technologickým krizím i ochrany v případě války,
- 1985 – bylo zahájeno sestavování plánů odezvy na pohromy na všech administrativních úrovních států
- 1992 – reorganizace FEMA po hurikánu Hugo a kalifornském zemětřesení Loma Prieta, zavedení preventivních opatření na zmírňování následků katastrof.

V roce 2003 byla ve Washingtonu založena organizace TIEMS (The International Emergency Management Society). Tato organizace má sloužit k rozvíjení a využívání moderních nástrojů a technik řízení krizových situací ve společnosti s cílem dosáhnout bezpečnějšího světa. Tohoto poslání hodlá dosáhnout těmito činnostmi:

- Zaměření na přesnost techniky z počítačové, komunikační a informační technologie a sociálních věd tak, aby poskytovaly užitečnou podporu pro rozhodování krizovým manažérům.
- Poskytování fóra pro politické vedení vládních orgánů podílejících se na zvládnutí krizí.
- Uvádění moderních nástrojů krizového řízení na trh, aby se tak napomohlo zajišťování vysoké kvality postupů při krizovém řízení na celém světě.
- Definování krizového řízení v kontextu s jeho implikací pro životní prostředí a společnost.
- Monitorování vývoje optimálních postupů při zvládnutí krizových situací na celém světě.
- Vytvoření víceoborového „Přístupu ke všem rizikům“ pro zvládnutí všech nebezpečí.
- Vzájemné propojení všech účastníků jako jsou vládní, průmyslové, akademické a dobrovolnické organizace.
- Využívání technologií z nejrůznějších sfér, jako jsou simulace, operační výzkum, systémy založené na znalostech, systémy na podporu rozhodování, informační systémy, psychologie a další společenské vědy.

Vybrané přednášky a dokumenty jsou publikovány v mezinárodním časopise řízení krizových situací (International Journal of Emergency Management).

Pod patronací TIEMS byla v listopadu 2004 v Praze uspořádána konference „Současnost a budoucnost krizového řízení“. Odkazujeme na sborník přednášek z tohoto zasedání, který obsahuje řadu informací o akcích zaměřených na snižování následků katastrof a pohrom.

Ochrana našeho obyvatelstva v zahraničí

S otevřením našich státních hranic a s obrovským rozvojem cestování i do nejbližších světových zemí se stala velmi aktuální ochrana našich občanů před přírodními katastrofami v zahraničí.

Obzvláště naléhavým se stal tento problém při jedné z největších přírodních katastrof moderní historie, zemětřesení a cunami v jihovýchodní Asii, kde prokazatelně zahynulo 7 českých občanů a ohroženy jich byly stovky, ba tisíce.

Ministerstvo zahraničních věcí ČR zajišťuje ochranu práv a zájmů České republiky a jejich občanů v zahraničí, a to se samozřejmě týká i případů, kdy se naši státní příslušníci mohou stát obětí mimořádných událostí, včetně přírodních katastrof a pohrom.

Za posledních několik desítek let známe mnoho takových případů. Nejde jen o země se zemětřesným či vulkanickým rizikem, tedy země většinou exotické, nýbrž i o země blízké, evropské. Mohli bychom jmenovat sněhové laviny ve Vysokých Tatrách a Alpách, svahové pohyby v mnoha evropských zemích, včetně Chorvatska, Francie a Itálie, cunami v Chorvatsku, v Řecku i Francii, bouřlivé přílivy na pobřeží Severního moře, zemětřesení v Řecku i jinde na Balkáně. Meteorologická rizika, jako jsou tropické cyklóny, jsou značná ve Spojených státech a mnoha asijských zemích.

V dokumentech MZV je vyjmenována celá řada mimořádných událostí v zahraničí, přičemž náš občan může být v roli turisty, zaměstnance, osoby s trvalým pobytem, osoby s dvojím občanstvím případně i osoby s ilegálním pobytem.

Před výjezdem poskytuje MZV na svých internetových stránkách www.mzv.cz oficiální informace o situaci a bezpečnosti většiny zemí světa i s doporučeními. Zde jsou důležité informace o sociální a politické situaci v zemi po velkých katastrofách, neboť jejich následky bývají ještě horší než katastrofy samotné.

Ve smyslu krizové legislativy ČR nelze hovořit o mimořádné události v zahraničí jako o krizové situaci. Interní směrnice MZS „Směrnice pro činnost zastupitelských úřadů ČR při mimořádných událostech, v krizových situacích a za válečného stavu“ vychází z dokumentů Bezpečnostní rady státu, platných zákonů ČR a dokumentů Rady EU, zejména z „Pokynů Rady EU o konzulární ochraně občanů EU v případě krize ve třetích zemích“. Činnost MZV a ostatních státních orgánů ČR je pomocí těchto dokumentů začleněna do systému krizového řízení ČR tak, aby byly v co největší míře využívány zavedené legislativní postupy pro řešení mimořádných událostí a krizových situací.

Řešení vzniklé mimořádné události v zahraničí vyžaduje spolupráci státních orgánů především v těchto záležitostech:

- vybavení a vysílání speciálních jednotek do zahraničí, tj. jednotek zdravotnických, konzulárních, bezpečnostních apod.,
- zásobování prostředky pro nouzové přežití občanů ČR a států EU a transport zásob,
- zabezpečení nouzového ubytování,
- zajištění transportu zraněných a nemocných občanů ČR a států EU do bezpečného místa.

Ministerstvo zahraničních věcí plánuje v tomto ohledu podle krizového zákona finanční prostředky. Např. pro rok 2004 byla plánována účelová rezerva 100 mil. Kč.

Další podrobnosti jsou uvedeny např. v referátu K. Müllera: Ochrana občanů České republiky a států Evropské unie při mimořádných událostech a krizových situacích v zahraničí – Současnost a budoucnost krizového řízení, 33, Praha 2004.

Pokusíme se též krátce zhodnotit nebezpečí přírodních katastrof, pohrom i rizik z nich plynoucích na místech nejčastějších pobytů českých občanů v zahraničí. Rozumíme tím hlavně pobyty rekreační a řadíme je podle nejčastějších destinací, podle terminologie cestovních kanceláří. Uvádíme převážně rizika geologická, výjimečně též meteorologická.

Přírodní katastrofy a rizika podle zemí

Chorvatsko

Zemi protíná aktivní seizmická linie ve směru rovnoběžném s pobřežím a paralelní zlom pode dnem Jaderského moře. Ten byl zdrojem ničivých zemětřesení, např. dalmatského v roce 1979. Jihodalmatská pobřežní oblast je rizikovým územím! I Záhřeb leží na aktivní seizmické linii. Nelze též podceňovat možnost útoku několikametrových vln cunami, které se např. v sedmdesátých letech několikrát opakovaly. V horách jsou časté rychlé svahové pohyby, i skalní řícení. V horách krasových oblastí pozor na propadání povrchu a skalní řícení. Meteorologická rizika v podobě silných větrů, zvaných bóra a jugo, jsou značná.

Itálie

Riziko zemětřesení je hlavně v oblasti Friuli (sv. část země), ve středních Apeninách, v Kalábrii i kolem Messinské úžiny na pevnině i na Sicílii. Nepodceňovat riziko mimořádného sopečného výbuchu při výstupu na Etnu a vulkány Liparských ostrovů! V Alpách a částech Apenin jsou svážné terény, ve velehorách běžné laviny. Pozor při výběru místa na kempování! Občas dochází k bleskovým povodním.

Řecko

Zemětřesení jsou běžná v celé zemi. Oblast Egejského moře je pokládána za jedno z evropských center seizmicity. Největší riziko je kolem Korintského zálivu, na severu při hranici s Makedonií, na Peloponesu i na ostrovech (Kréta, Rhodos, Milos, Santorin). Menší vlny cunami občas zaplaví pláže. Jsou projevem otřesů pode dnem Egejského a Krétského moře, případně i moře Jónského. V horách na odlesněných svazích bývají častá řícení i jiné svahové pohyby.

Egypt

Z hlediska přírodních rizik geologického charakteru země bezpečná. Menší zemětřesení bývají zaznamenána kolem Rudého moře a Akabského zálivu, jímž probíhá levantský zlom. U pobřeží Středoziemního moře možno očekávat občasnou větší vlnu, buď charakteru cunami nebo bouřlivého přílivu. V horách Sinajského poloostrova občasné svahové pohyby. V pouštích občas prachové a pískové bouře.

Tunisko

Země bezpečná z hlediska seizmicity. Na pobřeží možno očekávat občasnou větší vlnu různého původu. V pouštích dost časté prachové a pískové bouře.

Kanárské ostrovy

Pozor především na mimořádně velké vlny, občas zaplavují pláže! Prachové bouře zasahují na Fuerteventuru. Neriskovat při bližším zkoumání sopečné činnosti na Lanzarote! Na ostrově La Palma se píše o nebezpečí obrovské sopečné katastrofy s propadnutím kaldery Cumbre Vieja a vznikem obří vlny cunami. Obavy jsou zřejmě přehnané. V horských částech Gran Canarie občasná skalní řícení. Pozor na řícení kamenů na svahu chráněné hory Pico de Teide na Tenerifě. Po deštích se mohou sesouvat svahy struskových kuželů.

Francie

Zemětřesení mají spíše charakter seizmických překvapení, nejsou vyloučena v alpské a pyrenejské oblasti. Největší francouzská zemětřesení byla v jižním údolí Rhony a v Alpách u Isere a Chamonix. Azurové pobřeží mohou někdy zasáhnout několikametrová cunami, bylo tak zaplaveno i slavné korzo v Nice Boulevard des Anglais. Pozor výběr kempů v podhorských oblastech Alp a Pyrenejí. Občas dochází po přívalových deštích k bleskovým povodním. V krasových oblastech přímořské části Středoziemního moře pozor na poklesy povrchu.

Španělsko

Nebezpečná seizmická zóna se táhne podél Sierry Nevady v jižních částech země. Epicentra jsou i pode dnem Středozemního moře v. od Gibraltarského průlivu. Menší otřesy byly zaznamenány na španělské straně Pyrenejí. Atlantské pobřeží země bylo několikrát postiženo několikametrovou vlnou cunami. Nejnavštěvovanější částí pobřeží mezi francouzskou hranicí a Malagou jsou bezpečné. V horách běžná horská rizika. Baleáry (Malorca, Mednorca, Ibiza) nejsou přírodními katastrofami ohrožovány.

Portugalsko

Zasahuje sem azorsko-gibraltarská poruchová zóna, jež byla zdrojem katastrofického zemětřesení a cunami v roce 1755. Okolí Lisabonu je proto z hlediska zemětřesení rizikovou oblastí. Azory v Atlantiku jsou rizikovými seizmickými oblastmi.

Velká Británie

Z hlediska rizik přírodních katastrof poměrně bezpečná země. Zemětřesení jsou ojedinělá, typu seizmických překvapení. Nebezpečné jsou bouřlivé přílivy jak na pobřeží Severního moře, tak Lamanšského průlivu. Sledovat předpovědi počasí! Ve skotských horách i v Jezerní oblasti (Lake district) určité nebezpečí svahových pohybů po vydatných deštích.

Belgie a Nizozemí

Seizmicky bezpečné země, i když např. v Bruselu byly větší otřesy zaznamenány. V pobřežních oblastech nebezpečí bouřlivých přílivů. V kritických obdobích nutno sledovat předpověď počasí!

Německo

Nebezpečnou zemětřesnou zónou je Hornorýnský prolom, kde jsou v okolí velké aglomerace, např. Freiburg, Stuttgart, Karlsruhe a další. Rovnoběžné s Hornorýnským prolomem jsou zlomy švábský Alb – Bodamské jezero a východní švábský Alb, nebezpečný je i zlom Schwarzwald – Bodamské jezero. Otřesy jsou citelné i na našem území. Jiná rizika jsou podobná jako v Česku, zejména povodně na veletocích (Rýn, Labe, Dunaj) a jejich přítocích.

Rakousko

Zemětřesná rizika jsou poměrně velká, zemí probíhá řada aktivních zlomů. Zřejmě nejnebezpečnější je jihoalpský zlom, táhnoucí se od Verony k Villachu v j. části země. Byl zdrojem ničivého zemětřesení v roce 1976, zvaného friulské, jež otřásl i naším územím, včetně Prahy. Aktivní jsou i zlomy v Taurách, taurský a murský. Na Slovensko a do Maďarska přechází tzv. litavská linie (podle řeky Litavy, německy Leitha). V rakouských velehorách jsou běžné svahové pohyby, některé rizikové a podobně jako u nás, občasné povodně na řekách. V lyžařských terénech pozor na laviny!

Slovensko

Je náchylnější k otřesům než Česko. Obzvláště nebezpečný je komárenský zlom, zdroj ničivých zemětřesení, hlavně v roce 1764 a nověji 1924. Pod Malými Karpatami a údolím Váhu se táhnou další aktivní zlomy. Otřesy nejsou bohudíky ničivé, právě tak jako ty, zaznamenané v údolích pod Vysokými Tatrami. Jiná přírodní rizika na Slovensku jsou podobná jako česká a jsou dobře známa. Pozor na lavinové nebezpečí ve Vysokých Tatrách i překvapivou ničivou větrnou smršť roku 2004!

Maďarsko

Zemí probíhá několik aktivních zlomů, jednak komárenský ze Slovenska, jednak litavský z Rakouska a blatenský, na němž leží Balaton i Blatenské jezero. Otřesy jsou časté, ne však ničivé.

Skandinávie

Z hlediska přírodních katastrof bezpečné země. Občasná zemětřesení pouze v jižním Norsku podél Oslofjordu. V norských horách dost časté svahové pohyby, skalní řízení i podél hlavních silničních tahů. V zimě v horách běžná horská rizika.

Rumunsko

Malá poruchová zóna Vrancei z. od Bukurešti je seizmicky riziková, byla zdrojem ničivých otřesů v roce 1977, které poničily i Bukurešť.

Bulharsko

Otřesy jsou zaznamenávány podél zón Kolarovgrad – Tarnovo a kolem Plovdivu.

Turecko

Z hlediska přírodních katastrof riziková země! Západovýchodním směrem probíhá přes Istanbul až do Íránu vřezaný severoanatolský zlom, který má na svědomí desetitisíce obětí. Navíc se ve východních částech země kříží se severojižním zlomem. Otřesy mohou zasáhnout i turistické oblasti podél pobřeží Středozemního moře (Antalya, Alanya). Rizikové je i západní pobřeží od Izmiru na jih, neboť je na dosah od otřesů v Egejském moři. Vysoké turecké hory jsou mnohde bez vegetace, takže jsou v nich běžné svahové pohyby, po příválových deštích i bahnotoky a kamenotoky. Pozor na bleskové povodně!

Izrael

Je zemětřesenou oblastí, kterou probíhá přes Akabský záliv a Mrtvé moře aktivní levantský zlom. Řada „biblických“ katastrof je přičítána účinkům starých zemětřesení. V západních přímořských oblastech jsou známy odezvy otřesů ve Středozemním moři. Pobřeží je otevřeno také občasným, i když nekatastrofickým vlnám cunami. V Negevské poušti jsou běžné prachové a pískové bouře.

Kypr

Ostrov leží na rozhraní africké a eurazijské desky. Podsunování africké desky vyvolává běžné otřesy hlavně v jz. části ostrova. V horách běžná horská rizika.

Spojené státy

Velká a přírodně velmi různorodá země. Rizika různého druhu podle geografické pozice i geologické situace. Vážné zemětřesné ohrožení je v Kalifornii, hlavně podél zlomu San Andreas, jeho odnoží a zlomů paralelních. Za nejrizikovější se pokládají oblasti kolem těchto městských aglomerací: San Francisco, Los Angeles, Long Beach, Palmdale, Bakersfield a Sacramento. Určité riziko sopečných výbuchů je v Kaskádovém pohoří na sz. země. Největšími přírodními katastrofami jsou bezesporu tropické cyklóny, ohrožující atlantské pobřeží od Georgie až po jižní cíp Floridy a lousianské pobřeží Mexického zálivu. Zcela běžná jsou tornáda, hlavně v tzv. středozápadních státech. V horách jsou běžná horská rizika, jako svahové pohyby, včetně lavin. V centrech turistických oblastí poskytují dokonalé informace o přírodních rizicích. Geologická služba Spojených států (US Geological Survey) vydává brožurky o nebezpečí všech přírodních katastrof a rizik.

Thajsko

Z hlediska prosincového cunami 2004 jedna z nejrizikovějších zemí. Postiženo bylo ovšem pouze západní pobřeží Malajského poloostrova. Pobřeží Thajského (Siamského) zálivu je bezpečné. V horách severní části země nepatrné seizmické ohrožení. V období dešťů riziko povodní.

Použitá a doporučená literatura

- Barnet, I., Neznal, M. (2000, editoři): Radon investigation in CR, 8. Czech Geol. Surv. and Radon Corp., Prague.
- Gutdeutsch, R., Grunthal, G., Musson, R. (1992): Historical earthquakes in Central Europe. Monographs, vol.I. Geol. Bundesanstalt, Abhandlungen, 48, Wien.
- Houdek, F. (1999): Radioaktivita v životě. Ústav jaderného výzkumu Řež.
- Hrádek, M. (1995, editor): Natural hazards in the Czech Republic. – Studia Geographica, 98, 162 str., Brno.
- Hrádek, M., Kolečka, J., Švehlík, R. (1995): Natural hazards in the Czech and Slovak Republics. Studia geographica, 98, 7 – 56. Brno.
- Hrádek, M. – Ondráček, S. (1995): Investigation into the causes origin of flash floods in the Czech Republic. Studia geographica, 98, 112 – 139, Brno.
- Chlupáč, I. et al. (2002): Geologická minulost České republiky. Academia, 436 str., Praha.
- Ibrmajer, J. et al. (1989): Geofyzikální obraz ČSSR. – Academia, Praha.
- Jakeš, P. (v tisku): Přílivy hrůzy. Naklad. Lidové noviny, Praha.
- Just, T. et al. (2003): Revitalizace vodního prostředí. Agentura ochrany přírody krajiny ČR, 144 str., Praha.
- Kakos, V. (1976 – 1994): Přehledy meteorologických a hydrologických extrémů za roky 1976 až 1993. Hospodářské noviny, 1976 – 1990, č. 52, Ekonom, sv. 1991 – 1992, 1994, č. 1. Praha
- Kárník, V. (1968, 1971): Seismicity of the European area, part 1., 2. Nakl. Čs.Akad.Věd, Praha.
- Kender, J. (ed.)(2000): Teoretické a praktické aspekty ekologie krajiny, MŽP, Enigma, Praha.
- Kender, J. (2001): Ochrana a tvorba krajiny je ve státním zájmu (Hydrografická síť jako zdroj ekologické stability krajiny). Tvář naší země – krajina domova. Praha.
- Kender, J. (ed.)(2002): Krajina a voda, MŽP, Konsult Praha, Praha.
- Kender, J., Kukul, Z., Pošmourný, K. (2004): Geologie v krajině, krajina v geologii. CD Rom, MŽP ČR, Praha.
- Kingston, J., Lambert, D. (2003): Katastrophen und Krisen. Kaiser Verlag, Klagenfurt.
- Klener, V. (2000, editor): Principy a praxe radiační ochrany. SÚJB, Praha.
- Koenig, M.A. (1984): Geologische Katastrophen, und ihre Auswirkungen Auf die Umwelt. Ott Verlag, Thun. 240 str.
- Kolečka, J. – Shallal, J.K. (1995): Erosional hazard: Quantification of soil erosion damages detected by satellite images. Studia geographica, 98, 65 – 82. Brno.
- Kukul, Z. (1983): Přírodní katastrofy. Horizont, 259 str., Praha.
- Kukul, Z. (2004): Mořská přírodní rizika – hrozba i pro střední Evropu? Současnost a budoucnost krizového řízení, 23, Praha.
- Kukul, Z., Reichmann, F. (2000): Horninové prostředí České republiky, jeho stav a ochrana. Český geologický ústav. 190 str., Praha.
- Kukul Z., Němec J., Pošmourný K. (v tisku): Geologické paměť krajiny. Česká geologická služba, Praha.
- Lanzy, R.J., Mackenzie, F.T. (1979): Atmospheric trace metals: Global cycle And assesment of men´s impact. Geochim. Cosmochim. Acta, 43, 511.
- Manová, M., Matolín, M., Prokop, P., Rambousek, P. (1995): Sestavení a vydání radiometrické mapy České republiky 1 : 500 000. – Věstník Českého geol. Ústavu, 70, 4, 91 – 95, Praha.
- Matolín, M. (1976). Radioaktivita hornin Českého masivu. – Academia, Praha.
- Mezinárodní komise pro ochranu Labe. Zpráva za rok 1998. Magdeburg.
- Mikšová, J., Barnet, I. (2002): Geological support to the National Radon Programme (Czech Republic) – Bull. Czech Geol. Surv., 77, 1, 13 – 22, Praha.
- Müller, K. (2004): Ochrana občanů České republiky a států Evropské unie při mimořádných událostech a krizových situacích v zahraničí. Současnost a budoucnost krizového řízení, 33. Praha.
- Neznal, Matěj, Neznal Martin, Matolín, M., Barnet, I., Mikšová, J. (2004): Nová metoda stanovení radonového rizika pozemku. Práce České Geologické služby, 16, 1 – 47, Praha.
- Obrusník, I. (2002): Počasí – krizové situace způsobené přírodními vlivy. 64 str., MŽP ČR a Hydrometeorologický ústav ČR, Praha.

- Oeser, E. (2003): Historische Erdbebentheorien. – Geol. Bundesanstalt, Abhandlungen, Bd. 58, Wien.
- Otton, J.K.(1992): The geology of radon.– U.S.Geol. Survey, Washington.
- Pigula, T. (2005): Lavina, mrazivý fenomén. Koktejl, geografický magazín. Únor 2005, 64 – 70.
- Pilous, V. (2001): Krkonoše skal a kamení. Správa Krkonošského národního parku. Vrchlabí.
- Procházková, D. (2004): Metody hodnocení rizik pro potřeby krizového řízení a související problémy. In: Krizový management. Vojenská Akad. v Brně.
- Procházková, D. (2004): Komplexní pohled na problematiku bezpečnosti. In: Současnost a budoucnost krizového řízení, 37, Praha.
- Procházková, D., Říha, J. et al. (2005): Krizové řízení. MV–GŘ HZS ČR, 222 str., Praha.
- Radioactivity and isotope geology (2004). Earthwise, the official magazine of The British Geological Survey. Natural Environmental Research Council, London.
- Současnost a budoucnost krizového řízení. Sborník prací z konference 22 – 23. 11, 2004, Praha.
- Stehlík, O. (1981): Vývoj eroze půdy v ČSR. Studia geographica, 72, 1 – 70, Brno.
- Tomášek, L. et al. (2000): New results of study of lung cancer and radon, Third Eurosymposium on protection against radon, Liege, 31 – 36.
- Typové plány pro možné krizové situace v ČR (2004): MV–GŘ HZS ČR, Praha.
- Vašátko, J. (1992): Historický vývoj kultivace krajiny. Atlas životního prostředí a zdraví obyvatelstva ČSFR, Brno–Praha.

Internetové stránky

Ministerstvo životního prostředí – www.env.cz

Český hydrometeorologický ústav – www.chmi.cz

Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.M. – www.vuv.cz

Česká geologická služba, Praha – www.geology.cz

Česká geologická služba – Geofond, Praha – www.geofond.cz

Agentura ochrany přírody a krajiny AOPK – www.nature.cz

Správa ochrany přírody – sop.default.cz

Výzkumný ústav Sylva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví – www.vukoz.cz

Správa Krkonošského národního parku – www.krnep.cz

CENIA, Česká informační agentura – www.cenia.cz

Geofyzikální ústav Akademie věd ČR – seis.ig.cas.cz

Ministerstvo zemědělství – www.mze.cz

Správy povodí – www.povodi.cz

Ministerstvo informatiky – www.micr.cz

Ministerstvo zahraničních věcí – www.mzv.cz