

MOJMÍR HRÁDEK, JAROMÍR KOLEJKA, ROSTISLAV ŠVEHLÍK

## NÁHLÁ OHROŽENÍ GEOMORFOLOGICKÝMI KATASTROFAMI V ČESKÉ REPUBLICE

M. Hrádek, J. Kolečka, R. Švehlík: *Rapid Geomorphological Hazards in the Czech Republic*. – Sborník ČGS, 99, 3, pp. 201 – 214 (1994). – In general, the Czech Republic belongs among those Central European countries which are less subject to rapid geomorphological hazards (RGH). On the other hand, dangerous processes and events cause every year significant damage and threat for the health of population. Therefore a lot of effort is devoted to research of natural hazards and risks. This article aims to present a concise regional outline of natural hazards (especially RGH) in the Czech Republic.

KEY WORDS: Rapid geomorphological hazards – the Czech Republic – seismic hazard – earthquakes – mass movements – rock falls – avalanches – rapid subsidences – rapid erosional processes – floods – aeolian hazards.

### Úvod

Výzkum příčin a prevence přírodních katastrof, které vznikají nebo se projevují na zemském povrchu a jsou rychlou odezvou geosystémů na pomalé změny podmínek přírodního prostředí, představuje významný směr základního výzkumu v geomorfologii. Energií uvolněnou při náhlých změnách dochází často k přemísťování velkých objemů hmoty s ničivými účinky na majetek a životy obyvatelstva. Ve snaze přispět k bližšímu poznání procesů, které mohou náhlé katastrofy způsobit, vznikla v roce 1988 při Mezinárodní geografické unii (IGU) studijní skupina *RAPID GEOMORPHOLOGICAL HAZARDS (RGH)*.

Náhlé ohrožení mohou způsobit jak procesy endogenní, tak exogenní. Náleží mezi ně seismická a vulkanická činnost, svahové pohyby (sesuvy, laviny a skalní řícení), povodně, procesy spojené s dynamikou ledovců, pobřežní eroze a mořské záplavy, eolická činnost, rychlé erozní procesy, procesy spojené s táním permafrostu a rychlé poklesy půdy. Za jeden z prvních úkolů si studijní skupina *RGH* vytkla provedení inventarizace geomorfologických rizik, která ohrožují jednotlivé země a kontinenty, s ohledem na jejich přírodní podmínky. Při sestavování regionálního přehledu o území České republiky se ukázalo, že u nás máme dostatek odborných podkladů, z nichž lze vytvořit obraz náhlého ohrožení našeho území geomorfologickými procesy. Existují předpoklady vzniku nebezpečí spojeného se seismicitou, s rychlými erozními procesy, povodněmi a svahovými pohyby, s eolickými procesy a rychlými poklesy půdy.

Český výklad anglického termínu RGH není jednoznačný. Domníváme se, že vyjadřuje mezní, rizikové situace, při nichž dochází k náhlému ohrožení obyvatelstva nebezpečnou, rychle probíhající přírodní událostí. Důležitým významem anglického slova hazard je zejména časová nahodilost, tj. nenadálост vzniku, nejlépe vyjádřená adjektivem náhlý, které zároveň vyjadřuje rychlost průběhu. Proto jako vhodné vyjádření anglického výrazu RGH považujeme náhlé ohrožení geomorfologickými katastrofami, riziky nebo událostmi.

Účinky seismických otřesů, jejich intenzita i plošné rozšíření, se v ČR projevují rozdílně, jak co do intenzity, tak rozlohy postiženého území. Nejméně aktivní zónou, která ovlivňuje jak Český masiv, tak Západní Karpaty, je zcela přirozeně hlubinný styk těchto dvou navzájem se ovlivňujících jednotek. Tektonickým projevem tohoto styku je peripieninský lineament. Probíhá od Východních Alp obloukovitě podél rozhraní Vnějších a Vnitřních Západních Karpat. Na průběh tohoto lineamentu je vázána řada ohnisek zemětřesení. Nejblíže k naší východní hranici leží ohniska zemětřesení s maximální intenzitou až 8,5° MSK v úseku od Malých Karpat po Žilinu. Celkově lze říci, že Západní Karpaty mají vyšší zemětřesnou činnost než Český masiv, jak co do počtu, tak i velikosti.

Na kru Českého masivu působí tlakem horský oblouk Východních Alp [27]. Vznikající zemětřesení jsou převážně tektonická a z Alp se přenášejí na zlomech. Na většině území Českého masivu se sporadicky vyskytují slabá zemětřesení nepřesahující 5° MSK s hypocentry v malých hloubkách. Vznikají vyrovnáváním tlaků v poklesových územích. Ohniska silnějších zemětřesení jsou vázána na věnec okrajových pohoří, zejména Český les, Smrčiny, Krušné hory, jižní úpatí Lužických hor, Krkonoš, Orlických hor a sever Jeseníků [27]. Silnější otřesy byly zaznamenány v oblasti Sudet, např. v údolí horní Úpy (1901: 7° MSK, 1983: 6–7° MSK), v okolí Ramzové (1935: 5–6° MSK), v okolí Opavy (1931: až 6° MSK), nebo v okolí seismoaktivního hronovsko-poříčského zlomu (1979: 4–5° MSK) [30]. Jde většinou o zemětřesení s hypocentry v hloubce 3–19 km. Výjimečné seismické jevy jsou spojeny s místy křížení některých aktivních hlubinných zlomových struktur Českého masivu, zejména v západních Čechách. V oblasti ašského výběžku u Kraslic a Sokolova dochází ke křížení hlubinného litoměřického zlomu se západočeským hlubinným zlomovým pásmem, zejména s mariánskolázeňským zlomem. Zemská kůra se v místě křížení rozpadá na větší počet mechanicky slabě vázaných ker [28]. Jejich zvýšená pohyblivost se projevuje vznikem několikanásobných až několikaměsíčních série relativně slabších otřesů označovaných jako zemětřesné roje. Poslední zemětřesný roj se v západních Čechách vyskytl v letech 1985–1986, kdy nejsilnější otřesy dosáhly 6–7° MSK. Historické záznamy o otřesech jsou od 12. stol. Při silnějších z nich došlo v okolí epicenter k materiálním škodám na budovách, k destrukci komínů, padání střešní krytiny, vzniku trhlin a opadávání omítky. Průvodními jevy byly změny ve vydatnosti minerálních pramenů v nedaleké lázeňské oblasti [28]. Z hlediska vlivu účinků zemětřesných rojů na těžbu hnědého uhlí v pánvích při úpatí Krušných hor bylo zjištěno, že pohyb pudy na svazích v žádném případě nepřerostl v sesuvy a řícení [39]. Neopovzdalo se ani nebezpečí zemětřesení indukovaných těžbou hnědého uhlí při úpatí Krušných hor [8].

### Ohrožení svahovými pohyby

Svahové pohyby vznikají působením souboru procesů, z nichž ohrožení způsobují především sesuvy pudy, skalní řícení a laviny.

#### Sesuvy

Sesuvy jsou častým projevem současné dynamiky reliéfu území ČR. Jeden registrovaný sesuv připadá v průměru na každých 7,5 km<sup>2</sup>. Sesuvy vznikají za příznivých geomorfologických a povětrnostních podmínek (obvykle na svazích po vydatných srážkách) v nesoudržných uloženinách nebo v masivních horninách s nestabilním podložím. Silně se uplatňuje i vliv lidské činnosti. Výskyt a druh sesuvů je rozdílný podle geologických útvarů.

1. V *krystaliniku* Českého masivu a Západních Karpat dochází spíše k blokovým sesuvům, zejména v členitém reliéfu, kde byla stabilita hornin porušena zvětráváním, fluvialní nebo glaciální erozí a odlehčením úpatí svahů. V metamorfitech je pohyb ovlivněn plochami foliace; v České vysočině k těmto poruchám dochází dosti vzácně v hlubokých zářezech skalnatých údolí Vltavy (jižně od Prahy), Ohře (u Karlových Varů) nebo Sázavy. Zvláštní kategorií je zlomový svah Krušných hor, nejvýznamnější eskarpment České vysočiny, jak svou relativní výškou 700 m, tak délkou 130 km. V souvislosti s povrchovou těžbou hnědého uhlí v Mostecké pánvi dochází k odlehčování jeho úpatí a k hrozbě vzniku katastrofických blokových sesuvů. Typické rychlé sesuvy jsou zde vzácné. Častější jsou přívalové, tzv. bahenní proudy – seli. Vznikají za vydatných srážek v území nad horní hranicí lesa a zasahují hluboko do lesního pásma v délce až 1 km při šířce 10–40 m [8, 22]. Známý jsou např. z Krkonoš a Hrubého Jeseníku.

2. V *permokarbonských pánvích* České vysočiny dochází výjimečně k pohybu kompaktních ker pískovců po podloží plastických jílovců. Při planárním sesuvu u Mladotic v západních Čechách v roce 1872 vzniklo hrazené jezero [35]. Katastrofální sesuv v podhůří Krkonoš byl registrován u obce Košťálov v roce 1975.

3. V *krasových oblastech* České vysočiny je znám pohyb bloků po povrchu úpatních kuželů, spojený s jejich vykláněním v hlubokých kaňonovitých údolích (Moravský kras). V bradlovém pásmu Západních Karpat se posunují vápencové bloky odtržené od mateřských masivů po měkkých vrstvách flyšových hornin (Pavlovské vrchy).

4. *Oblast České křídové pánve* se subhorizontálním uložením sedimentárních souvrství je rovněž náchylná ke vzniku svahových poruch. K plošným, proudovým i rotačním sesuvům dochází ve zvětralinách slínovců a jílovců. Charakteristické jsou blokové pohyby v místech, kde měkké kluzké jílovce a slínovce tvoří podloží tabulových plošin z masivních vápnitých pískovců, např. v okolí Mělníka. U obce Dneboh se v roce 1926 dalo do pohybu 30 ha svahu do hloubky až 30 m, o objemu 3 mil. m<sup>3</sup>. Častější jsou blokové sesuvy na deformovaných okrajích České křídové pánve, kde vápnité pískovce nasedají na plastické podloží permských jílovců a jílových pískovců (Džbán, Hřebečovský hřbet a jiné východočeské kuesty). V Českém středohoří naopak tvoří mobilní nadloží křídových jílovců a slínovců masivní čediče třetihorního stáří.

5. *Flyšové pásmo* Vnějších Západních Karpat je nejvýznamnějším regionem na území ČR co do četnosti sesuvů všech typů. Rozhodující pro četnost sesuvných jevů je struktura flyšových souvrství. Distribuci vlhkosti se v hornině vytvářejí oslabené zóny. Geomorfologická predispozice sesuvů je také odvozena z velké energie reliéfu flyšového pohoří. Lze rozlišit tři základní typy sesuvů: blokové sesuvy podle vrstevních ploch, pohyby bloků na čelech vrstev a nejrozšířenější sesuvy ve zvětralinách. Území s několika generacemi sesuvů jsou charakteristická pro flyšová pásma Západních Beskyd a Slovensko-moravské Karpaty [22].

6. *Sesuvnými jevy* jsou ve značné míře zasaženy rovněž okraje vulkanických pohoří i drobnějších sopečných útvarů České vysočiny i Západních Karpat (Bánov), kde vulkanity nasedají na plastické podloží křídových, paleogenních a neogenních uloženin. Nitra vulkanických masivů jsou postižena sesuvy méně, s výjimkou stratovulkánů, kde se střídají odolné výlevné horniny s pyroklastiky, což platí v České vysočině např. pro Doupovské hory. V Českém středohoří je častý blokový typ sesuvů v průlomových údolích Labe a Bíliny a obdobně i proudové a plošné sesuvy zvětralin vulkanitů po křídovém podloží [23]. V roce 1898 byla zničena část obce Klapý sesuvem čedičových sutí po křídových slínech. Proud se pohyboval rychlostí 5 m/h a jeho čelo dosáhlo výšky až 8 m.

7. V *sedimentárních neogenních pánvích* jsou k sesuvům náchylná zářezy (přírodní i umělé) narušená souvrství písků a štěrku nasedající na ukloněné, méně propustné, jílové nebo slínové podloží. V členitých okrajích Chebské, Sokolovské a Mostecké pánve na severozápadě České vysočiny dochází na svazích k proudovým



Obr. 1 – Po déletrvajících srážkách v r. 1985 byla část obce Budkovice v jv. části Boskovické brázdy u Moravského Krumlova zničena sesuvem. Mezi příčiny svahového pohybu náleží podemílání údolního svahu řekou Rokytinou, objemové změny v jilech ottangu (neogén) a neuvážené antropogenní zásahy (svod dešťové kanalizace aj.). Snímek M. Hrádek.

i plošným sesuvům, zatímco podél údolí vznikají frontální sesuvy 1–3 km dlouhé (výjimečně i více km) [22, 23]. Vyvýšeniny typu hrástí (např. vrch Výhon v Dyjsko-svrateckém úvalu) podléhají všem formám svahových poruch a sesuvů. Jako výrazný činitel, urychlující sesuvné procesy, se uplatňuje činnost člověka. V Sokolovské a Mostecké pánvi se při povrchové těžbě hnědého uhlí uvolňuje ze stěn dolů, výsypky a umělých svahů až 10 mil.m<sup>3</sup> materiálu [29]. Ke katastrofickému pohybu výsypky zde došlo v roce 1990.

8. Z kvartérních sedimentů podléhají svahovým poruchám zejména svahoviny, spraše, till, travertiny a fluviální hlíny. Náchylná jsou především území s hlubokými stržemi a úvozy v mocných sprašových akumulacích (Jihomoravské a Středomoravské Karpaty). Na vzniku sesuvů v kvartérních sedimentech se podílí také boční eroze toků (Morava nad Hodonínem, Svatka pod Židlochovicemi aj.) a abrazní účinky vln na přehradních nádržích (Nechranice).

Výzkumu oblastí ohrožených sesuvy, které zaujímají v ČR necelá 2 % území státu a přibližně 200 km komunikací, je věnována velká pozornost. Využívá se nejnovějších geotechnických a fotogrammetrických metod, byl vybudován informační systém Geofondu. V Mostecké a Sokolovské kotlině se provádí pravidelný monitoring.

## Skalní řícení

Přestože je reliéf ČR dosti členitý, existují příznivé podmínky pro vznik řícení jen na malé části území. K projevům řícení jsou náchylné zejména následující oblasti.

*Horské, glaciálně modelované krajiny.* Ledovcový reliéf se skalními stěnami je v České vysočině poměrně vzácný. Jde spíše jen o izolované ledovcové kary a trogy v Krkonoších, Šumavě a Jeseníkách. Akumulace z řícení však místy pokrývají nemalé plochy, zejména v Krkonoších.



*Skalní stěny krasových oblastí se nacházejí v hlubokých kaňonovitých údolích, na vyzvednutých troskách příkrovů, v krasových propastech a jeskynních dómech. V České vysočině jsou skalní stěny hojně zejména v Českém a Moravském krasu. K velkému řícení došlo v roce 1885 u Holštyňa.*

*Sedimenty České křídové pánve mají příznivé podmínky pro řícení na čelech souvrství. Příkladem jsou hluboká kaňonovitá údolí Labe a Kamenice v Děčínské vrchovině, Tiché Orlice u Chocně, některé úseky údolí Jizery (Turnov). Velmi četné případy řícení jsou typické pro pískovcová skalní města, např. Prachovské skály, Adršpašsko-teplické skály, Broumovské stěny, Kokořínsko, Tiské stěny a další. K řícení jsou náchylné také monoklinální hřbety kuest na okrajích křídové pánve (Hříva u České Třebové – řícení v opukových stěnách v letech 1853, 1895; Hřebeč u Moravské Třebové – opuky, Broumov – pískovce, aj.) a mesy (Ostaš u Teplic nad Metují, Skalní stěna u Moravské Třebové aj.). Klasickou oblastí řícení je údolní zářez Labe v Děčínské vrchovině. Zde dochází k řícení pískovcových skalních bloků, které ohrožují silniční a železniční komunikace i obydlí (např. v r. 1938). V této oblasti byl vybudován velmi efektivní systém monitoringu skalních útvarů náchylných k řícení [42] za účelem ochrany tzv. labského dopravního koridoru. Zatím se uskutečnila úspěšná prognóza řícení s přesností na 3 dny. Předpoklady k vzniku skalního řícení poskytují i hluboká skalnatá údolí, zahloubená v pahorkatinách, a skalní útvary. Známá jsou např. řícení skalních stěn v údolí Vltavy (Vrané a Štěchovice; v roce 1925 došlo k řícení o objemu cca 1000 m<sup>3</sup>), na Berounce a Střele (řícení u Krivoklátu) nebo v menších údolích na zlomovém okraji Krušných hor (např. u Jáchymova v roce 1848), v Krkonoších, aj. [35]. Skalní útvary náchylné k řícení se nacházejí ve většině krystalických, horských oblastí České vysočiny a Západních Karpat, zejména nad hranicí lesa. Nejintenzivněji probíhají tyto procesy na jejich západních stěnách [20]. Analogicky mohou být stejnými procesy postiženy i útvary v masivních vulkanických horninách.*



Obr. 2 – Sesuvem poškozená lesní silnice na svazích Velkého Lopeníku u Březové. Zvětraliny flyšových hornin jsou náchylné ke vzniku oslabených zón vlivem zvýšení obsahu vlhkosti. Snímek R. Švehlík.

Vznik lavin podporuje členitý reliéf a klimatické podmínky. Česká vysočina se zmlazeným epiplatformním reliéfem jen výjimečně dosahuje vyšších úhrnů sněhových srážek. Zarovnané povrchy na rozvodích jsou na okrajích rozčleněny říčními (místy ledovcovými) údolními. Přirozená horní hranice lesa se v hercynských pohorích České republiky pohybuje kolem 1250 až 1300 m n.m. [15]. Ze zarovnaného povrchu bývá sníl svát a druhotně akumulován za hranami karů a v pramenných mísách toků. Jeník [15] označuje posloupnost: návětrné údolní polohy – plochá rozvodí – závětrné údolní polohy jako tzv. anemoorografické systémy, ve kterých dochází pod vlivem větru k výraznému přerozdělení sněhu a ovlivnění vegetace. Lokality s tímto uspořádáním jsou hlavními přirozenými místy výskytu lavin v Krkonoších, Kralickém Sněžníku a v Hrubém Jeseníku. Odlesněním horní části lesního pásma pro pastviny byl prostor pro vznik a pohyb lavin rozšířen již od výšek 1100 – 1200 m (např. nejvyšší vrchol Krušných hor – Klínovec 1244 m). V současnosti je horní hranice lesa dále snižována vlivem dálkového přenosu fyto toxických emisí. Příkré lavinové bezleسه svalhy jsou v malém rozsahu aktivní i v Jizerských horách a v nižších polohách západních Krkonoš (ve výškách cca 1000 m n.m.). Sněhové laviny se dnes mohou vyskytovat i v nižších pohorích, kde horní hranice lesa nebyla vůbec vyvinuta, např. na pastvinách na Valašsku. V Moravskoslezských Beskydech vznikly nové lavinové svalhy i ve výškách pod 1000 m n.m., na plochách s odumřelými lesními porosty.

Morfogenetický a hospodářský význam lavin v českých horách s fyto toxicky oslabenými lesními porosty není zanedbatelný. Účinky na reliéf se projevují dvěma základními formami: obrušováním povrchu a jednorázovým odtržením půdy a zvětralin (vzácnější). Laviny padají nejčastěji v březnu (55 % všech lavin), dále v únoru (9 %), v lednu (5 %) a v květnu (4 %). V Krkonoších jsou nejčastější prachové laviny [40]. Největší, v délce 1375 m, sjela do Labského dolu dne 8.3.1956. Pohybovala se velkou rychlostí a tlaková vlna před ní měla v lese explozivní účinek.

### Ohrožení rychlými poklesy půdy

Tento jev je možno v České republice spojovat se dvěma procesy, jednak s podolováním území při důlní těžbě, jednak se sufozí. Poklesy povrchu jsou nejvíce rozšířeny ve svrchnokarbonské hornoslezské pánvi, v ostravsko-karvinském revíru. Svrchní karbon se sloji černého uhlí je pokryt neogenními sedimenty karpatské předhlubně a kvartérními glacigenními, fluviálními a eolickými sedimenty. K poklesům povrchu dochází tam, kde jsou mocnější sloje nehluboko pod povrchem. Na rozvodích se poklesy projevují trhlinami, terénními stupni, poškozením budov, komunikací a degradací zemědělské půdy. Poklesy půdy s městskou zástavbou způsobily v minulosti i zřícení budov. Na svazích mohou poklesy vést k sesuvům nesoudržných zemin a ke vzniku bažin, je-li narušena cirkulace podzemních vod. V údolních nivách vznikají rozsáhlé deprese a ploché kotliny hluboké až 12 m, zaplněné podzemní vodou. Rychlost poklesů lze odhadovat na 0,8 m/rok. V české části hornoslezské pánve zaujímají území postižená poklesy 1483 ha [10]. Pokleslá území byla využívána jako odkaliště průmyslových závodů nebo odvodňována, zavážena, a tím postupně stabilizována a rekultivována.

Významnější projevy sufoze jsou v České republice dosti vzácné. Dochází k ní jednak v horninách s karbonátovou příměsí (vápnité pískovce v České křídové tabuli a flyšových Karpatech) a v málo soudržných sedimentech, které jsou porušeny vertikálními puklinami (spraše) nebo v málo vytříděných sedimentech (říční a mořské štěrky). Případů rychlých poklesů v důsledku sufoze je známo málo. Může k nim dojít ve spraších jako k doprovodnému jevu rychlých erozních procesů a vzniku tunelové eroze. V roce

1970 došlo při průtrži mračen v pahorkatinném reliéfu podhůří Chřibů, budovaných panonskými písky, k intenzivní sufozi a k důlním průvalům. Povrchová voda pronikla do lignitového dolu v Šardicích, kde zahynulo 34 horníků. Na povrchu terénu vznikly krátery několik metrů široké. Podobně došlo v roce 1986 ke vzniku kráteru 15–20 m širokého, průsakem přivalových vod miocenními písky a jejich průvalem do štolý kmenové stoky v Brně-Lesné.

### Ohrožení rychlými erozními procesy

V nenarušených, přírodních podmínkách střední Evropy byl přirozený povrchový odtok zpomalován souvislou rostlinnou pokrývkou. S postupným osidlováním území a obděláváním půdy byl vegetační kryt redukován, což s ohledem na vertikální a horizontální členitost i sklon reliéfu, roční chod srážek a vlastnosti geologického substrátu vedlo ke zrychlování povrchového odtoku, k projevům eroze a vzniku záplav.

Nejnápadnějším projevem rychlých erozních procesů je na jedné straně vznik strží a stružkové eroze, na straně druhé odnos plavenin a splavenin vodními toky. Hustoty strží přibývá na našem území směrem k východu. Zatímco v České vysočině je hustota strží vyšší než 1 km/km<sup>2</sup> vzácná, v Západních Karpatech dosahuje až 4 km/km<sup>2</sup> a výjimečně, ve sprašových oblastech i 10 km/km<sup>2</sup>. Stržové systémy jsou nejvíce rozšířeny při úpatí pohoří na styku s kotlinami, v nesoudržných kvartérních a neogenních sedimentech s chudými výsychavými půdami. Na Moravě zabírá území s hustotou strží vyšší než 0,25 km/km<sup>2</sup> 5513 km<sup>2</sup>, tj. jednu pětinu území [9, 38]. Hustota cca 1 km/km<sup>2</sup> (max. 3,3 km/km<sup>2</sup>) je možná v klastických sedimentech, ve sprašových oblastech jižní Moravy a ve flyši Západních Karpat. Na území České vysočiny se stržové systémy nacházejí kromě okrajových pohoří i na svazích údolí a kotlin v pahorkatinách. Nebezpečí stržových systémů spočívá kromě ztráty půdy i v jejich podílu na vzniku bleskových povodní. O růstu strží existuje na našem území řada historických dokladů. Příkladem může být povodí horní Berounky. V povodí Rakovnického potoka vznikl destrukční cest ve zvětralých pískovcích algonkia v průběhu asi 250 let stržový systém o hustotě 0,6 km/km<sup>2</sup>, který měl značný podíl na vzniku nebezpečných povodní. Odhaduje se, že z plochy 954 ha bylo v průměru smyto cca 1,3 m<sup>3</sup>/ha za rok, z vlastní plochy strží o rozloze 18,9 ha pak 65,6 m<sup>3</sup>/ha ročně [41]. Velice konkrétní údaje o změnách intenzity erozních procesů poskytlo porovnání starých pozemkových map. Na jihovýchodním okraji České vysočiny dosahuje hustota strží až 1,9 km/km<sup>2</sup>. V letech 1825 až 1887 došlo např. v okolí Ivančic k nárůstu plochy degradované stržemi o 39,8 ha [17].

V Západních Karpatech se v územích zdevastovaných stržovou erozí za posledních 200 let erozní procesy zrychlily a plošnému odnosu podlehlá vrstva až 0,3 m půdy [41]. Koncem osmdesátých let minulého století byla v Čechách znehodnocena erozí 2 % zemědělské půdy [41]. Hlavními příčinami zrychlování eroze bylo odlesňování, přeměna lesní půdy na pole a pastviny, změny způsobu obdělávání půdy a struktury pozemků a sítě cest. Od konce 19. století se ohrožené plochy počaly zalesňovat, budovala se protierozní opatření. Tím se destrukční proces zastavil.

Nová fáze růstu eroze začala po 2. světové válce. V roce 1985 činila rozloha zemědělské půdy v České republice 43 000 km<sup>2</sup>, z níž bylo 32 700 km<sup>2</sup> půdy orné [21]. Předpokládá se, že 46,5 % zemědělského půdního fondu je nyní ohroženo erozí (cca 13 900 km<sup>2</sup>). Hlavní příčinou vzniku nepříznivé situace byly snahy po dosažení vyšší produkce. Došlo ke zvýšení intenzity eroze 2 až 10krát, místy až stokrát [2]. Přispěly k tomu změny v zemědělské krajině, zejména zcelování pozemků během kolektivizace a přechod na velkoplošné obdělávání půdy, pěstování erozně nebezpečných plodin, rušení starých protierozních opatření (travnaté pásy a meze), zvětšování obdělávaných ploch na dlouhých svazích, obdělávání strmých svahů (až do 30°) po spádnici, zhutňování půdy

a v neposlední řadě začleňování území s hustou sítí svahových úpadů (až 3,7 km/km<sup>2</sup>) do systému velkoplošného hospodaření [11].

Základní příčinou vzniku rychlých erozních procesů je buď rychlé tání sněhu spojené s deštěm, nebo krátkodobé přívalem deště s vysokým úhrnem srážek v jarním a letním období. V pahorkatinném reliéfu České vysočiny s hustou sítí úpadů a suchých údolí přechází plošný splach rychle ve stružkovou erozi a během několika intenzivních lijáků (např. v roce 1987 úhrn za duben – červen lokálně až 103 mm) může dojít ke vzniku sítě rýh hlubokých až 1,5 m [11]. Ve vrchovinách západního a východního okraje Nízkého Jeseníku došlo během lijáků o jednorázovém úhrnu 24–36 mm k odnosu více než 1000 m<sup>3</sup>/hod. Stružková eroze byla pozorována již při sklonu 2° [6, 4]. Horské povodí Hučivé Desné bylo v roce 1921 postiženo pět hodin trvajícím přívalem deště o hodinovém úhrnu 36 mm. Na 500 m dlouhých svazích Červené hory vznikly sesuvy a 4–5 m hluboké strže o šířce až 10 m [23, 31]. V málo zpevněných sedimentech Vněkarpatských sníženin na Moravě vznikají strže rovněž rychle. V pahorkatinném reliéfu severně od Bzence došlo na počátku letního období 1953 k sérii silných dešťů. Během posledního tříhodinového lijáku o celkovém úhrnu 77 mm, vznikly na svazích vinic nad městem, o sklonu do 20°, rýhy hluboké až 0,5 m a úvozy byly prohloubeny ve strže 7–9 m hluboké. Proudění vody a nánosy bahna byl vážně ohrožen provoz města [31]. Ve sprašových oblastech jižní Moravy dochází k intenzivnímu odnosu plošnou erozí. Např. v části povodí Štinkovky o rozloze 374 ha činil na ploše 13,8 ha průměrný roční odnos 17,6 m<sup>3</sup>/ha [19], což je podle Zachara [41] zatím nejvyšší dlouhodobá intenzita eroze v ČR. Ke vzniku rizikových situací přispělo neuvážené rozmístění polí ve struktuře ostatních pozemků a cest, nevhodná skladba erozně nebezpečných plodin a nevhodné způsoby obdělávání půdy v členitém reliéfu. Jednorázový odnos půdy může v takových případech přesáhnout 1000 m<sup>3</sup> půdy na 1 ha. Na území ČR byly zaznamenány i jednorázové úhrny srážek převyšující 175 mm, které měly za následek katastrofální erozi. Jako kritická je z hlediska aktuální eroze považována již intenzita deště 0,2–0,5 mm/min., s celkovým úhrnem 5–15 mm [41].

Na rychlých erozních procesech se vedle zemědělství podílí také lesní hospodářství. Celková rozloha lesní půdy v ČR je cca 2 620 tis. ha, z čehož 60 % lesních porostů je poškozeno imisemi. Oslabené porosty jsou poškozovány vichřicemi a škůdci, a proto intenzivně těženy. Je tomu tak zejména v pohořích severního pohraničí České republiky, která jsou vystavena orograficky zesíleným srážkám. Odlesňování s použitím těžkých mechanismů na strmých svazích (přes 40°), pokrytých nestabilními sutěmi, vytváří podmínky pro vznik eroze. Jako další příklad mohou sloužit Moravskoslezské Beskydy, které mají díky méně odolnému flyšovému podkladu jednu z nejvyšších hodnot potenciální eroze u nás (až 4,13 mm/rok) [33]. Tato intenzita se projevuje jak v růstu aktuální plošné i stružkové eroze, tak i v odnosu plavenin a splavenin. Spojí-li se období tání s jarními srážkami, potom může v územích erozně náchylných (s povrchem narušeným těžbou) dojít ke katastrofální erozi [3]. Bylo zjištěno, že snížením biomasy vlivem těžby o jednu třetinu se zvýšil roční odtok o 22 % [5]. Splaveniny zanášejí dna toků, vodní nádrže, náhony a kanály. Například v přívodním kanálu hydrocentrály Ládcce činil objem splavenin 200 000 m<sup>3</sup> [18]. Měřen byl i transport jemnějších frakcí splachů ze svahů. Průtoky plavenin v experimentálních povodích dosahovaly rozmezí 12,4 až 338,2 t/km<sup>2</sup> [13]. V období budování lesních cest k těžbě dřeva se průměrná koncentrace plavenin zvýšila proti období těžebního klidu až trojnásobně [14]. V ročním průměru představoval odnos půdy z 1 km<sup>2</sup> povodí 33 m<sup>3</sup>, přičemž 75 % z celkového množství plavenin přichází z lesních cest nedostatečně zajištěných proti erozi.

Na území České republiky je v průměru unášeno ve vodních tocích 50 m<sup>3</sup> splaveného materiálu z 1 km<sup>2</sup>/rok a z členitějšího reliéfu Západních Karpat ubývá ročně 10–100 m<sup>3</sup> z 1 km<sup>2</sup> [1]. V přepočtu na tuny se předpokládá, že z území bývalé ČSFR byly odnášeny ročně 4 miliony tun plavenin a z výrazně poškozených ploch 250–500 t/ha. Transport



plavenin nepříznivě ovlivňuje provoz přehradních nádrží, jejichž prostory se zanášejí. V přehradách se ročně ukládá 1,7 milionu tun plavenin [2]. Životnost nádrží, např. na Dyji je z tohoto důvodu propočtena jen na 60–80 let [5].

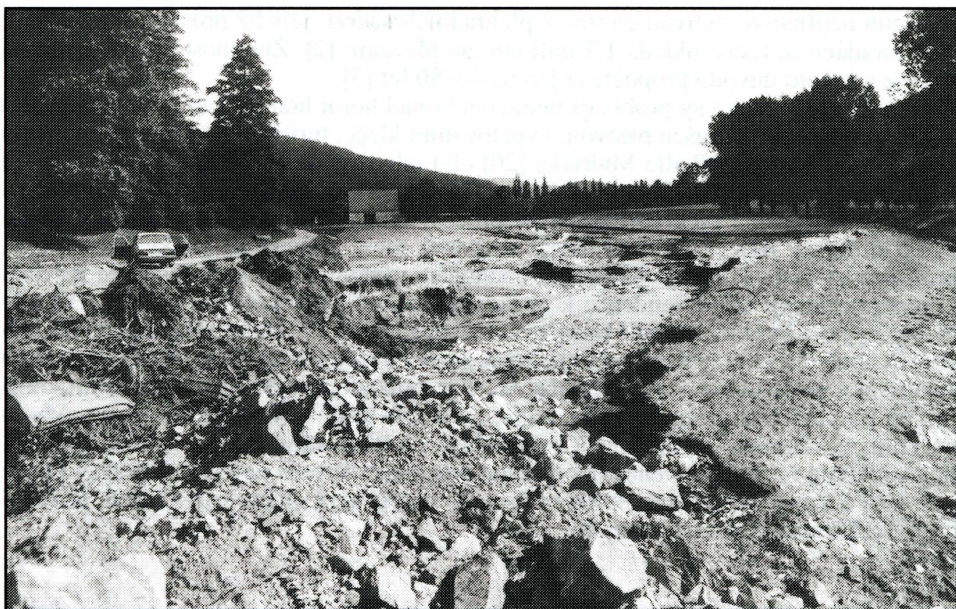
Rychlé erozní procesy probíhají intenzivně i nad horní hranicí lesa, zejména pokud byl dřevový pokryv porušen pastvou, vypalováním kleče, turistikou, větremou erozí nebo kryogenními procesy. Podle Midriaka [20] činí odnos půdy nad horní hranicí lesa, ve vysokohorském prostředí Západních Karpat (Lysá hora), v průměru 0,10–0,72 mm ročně.

Škody způsobené rychlými erozními procesy činily na území bývalé ČSFR ročně 2–2,5 miliardy Kčs [2]. Eroze náleží současně mezi procesy se znaky nahodilosti, prostorové i časové. Při dlouhodobém hodnocení výskytu eroze se v důsledku kolísání klimatu projevují určité tendence k opakování erozně nebezpečných přívalů. Periody těchto výkyvů byly na základě pozorování stanoveny na 15–20 let [16]. Stejně tak dochází k opakování výskytu nebezpečných situací v určitých územích. Příčinu je možno spatřovat v náchyllosti některých míst, která je dána orografickými zvláštnostmi, morfologií povrchu a stupněm technogenního ovlivnění krajiny. Časoprostorovým vyhodnocením extrémních erozních jevů byly oblasti s touto náchyllostí vymezeny [16]. Jejich výzkumu bude třeba věnovat zvýšenou pozornost. Kromě nejvyšších pohoří České vysočiny a Západních Karpat k těmto územím náleží např. jižní úpatí Chřibů, ústřední části Českomoravské vrchoviny aj.

### Ohrožení povodněmi

Mezi rychlými erozními procesy a zvýšenými průtoky v řekách, které se projevují jako povodně, existuje příčinná souvislost. Zprávy o povodních podávají již nejstarší kroniky z 8. století a potvrzují je archeologické nálezy staveb pohřbených pod nánosy říčních sedimentů. Například mrtvá ramena Moravy v sousedství obranných valů v Mikulčicích, z období Velkomoravské říše, jsou vyplněna až 3,5 m mocným nánosem, přičemž je archeologicky doloženo, že od 6. století se uložily minimálně 2 m těchto nánosů [34]. Velká rychlost zanášení je zřejmě odrazem intenzivních erozních procesů, které mohou mít souvislost jak se změnami klimatu, tak s rozvojem zemědělství. Středověká kolonizace náhorních planin ve vrchovinách přispěla ke vzniku ničivých povodní, které ve 13. stol. zničily řadu osad v hlubokých údolích řek. Za povodně roku 1272 bylo vážně poškozeno Staré Město pražské a mj. byl zničen i nejstarší, tzv. Juditin kamenný most. Po této povodni se počalo se zvyšováním břehů Vltavy.

Na našem území vznikají povodně trojího typu. Na většině vodních toků se vyskytují povodně nejčastěji v období tání sněhu, zpravidla od prosince do dubna. Dešťové srážky v tomto období nebezpečí povodní zvyšují. Povodňové vlny dosahují zpravidla největšího objemu. Hydrogramy se vyznačují plochým vrcholem a delší dobou trvání. Povodně z tajícího sněhu jsou typické pro nížinné a pahorkatinné úseky povodí Labe, Vltavy a Moravy. Letní povodně jsou způsobeny regionálními dešti, které trvají přibližně 10–72 hodin. Vlivem návětrných efektů dochází v horských a podhorských oblastech k orografickému zesilování srážek a tím i k prodloužení doby jejich trvání. Povodně mají zpravidla menší objem než povodně jarní. Povodňová vlna bývá poněkud strmější, může mít i několik vrcholů. Dlouhotrvající deště způsobily v poslední době několik povodní, při nichž byly překročeny hodnoty stoletých vod, např. v povodí Vltavy a Berounky. Třetím typem povodní, k němuž dochází výhradně v letních měsících, jsou povodně způsobené krátkodobými bouřkovými lijáky. Povodňové vlny tohoto typu mají strmý průběh s krátkou dobou trvání, takže objemově jsou relativně menší než předchozí typy. Příčinné srážky dosahují vysoké intenzity, více než 44 mm/hod. To má za následek rychlý vzestup průtoku s kulminací během několika hodin. Vyskytují se v oblastech center dešťových srážek a zasahují území o rozloze několika desítek km<sup>2</sup>.



Obr. 3 – Blesková povodeň na Besénku v červnu 1986. Po vyběžení vytvořil vodní příval nové koryto a ohrozil obec Šerkovice u Tišnova. Snímek M. Hrádek.

Mohou také pokrýt pás území a zasáhnout i celé povodí menších a středních toků. Zvláště nebezpečné jsou tzv. bleskové povodně, postihující poměrně malé a krátké toky po silných bouřkových lijácích v letním pololetí (od dubna do září). Zvláštností dubnových bouří je, že přicházejí v pozdních večerních a nočních hodinách, kdy mohou nebezpečně ohrožit obyvatelstvo [5]. Účinek povodní se zesiluje v místech soutoku více toků, např. v Plzeňské pánvi, ve středních Čechách v Praze, při ústí Ohře do Labe aj.

Na území Čech, koncentricky odvodňovaném Vltavou a Labem, se projevují všechny tři typy povodní. Zimní a jarní povodně jsou často negativně ovlivňovány vzdušnými hladinami ledovými krami. Povodněmi v povodí Vltavy je ohroženo hlavní město Praha. Od roku 819 do roku 1954 bylo na Vltavě zaznamenáno cca 56 velkých povodní, z nichž mnohé Prahu vážně poškodily. Nejsilnější vyhodnocená povodeň z února roku 1782 měla maximální průtok  $4580 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Soustava přehradních nádrží na Vltavě svými retenčními prostory snižuje nebezpečí povodní. Povodně na Vltavě však ovlivňuje i povodí Berounky, které tento ochranný systém nemá. Například povodeň z května roku 1872, která zasáhla Prahu, měla svůj počátek na horním toku Berounky. Při povodni zahynulo asi 50 lidí, byla zničena železniční trať a protřeny hráze několika rybníků. Blesková povodeň byla doprovázena erozními jevy a sesuvy. Například sesutím části svahu vzniklo v údolí přítoku Střely hrazené jezero u Mladotic o rozloze 5,8 ha.

V severní části Čech, zejména v Jizerských horách, převládají letní povodně z orograficky zesílených srážek při setrvávající tlakové níži. Katastroficky se projevila např. povodeň v roce 1916, kdy se na horním toku Bílé Deštné protrhla hráz přehrady. V Krkonoších se také projevuje návětný efekt, převládají však jarní povodně z tajícího sněhu [5]. Z letních povodní jsou významné ty, které způsobují náhlé přívalové deště s bouřkami (1882, 1897). Zvláštní předpoklady k bleskovým povodním má území ležící v koridoru mezi Krušnými horami a Českým středohořím. Procházejí-li tímto územím s nálevkovitým efektem studené fronty, dochází na některých místech k opakovaným bouřkovým situacím s přívalovými dešti (1927, 1979, 1987). Úhrny srážek až 200 mm způsobily sérii katastrofických povodní v povodí Jílovského potoka. Poslední silná po-

vodeň zde nastala 1.července 1987. V tuto dobu byl povrch dostatečně pokryt vegetací a k erozním jevům došlo převážně výmolem v korytech. Při povodni byla mj. protřena hráz rybníka, zatopeno 200 domů a průmyslových objektů, poškozeno 32 mostů [12]. Katastrofální byla rovněž blesková povodeň na Stěnavě a horní Metuji v červnu 1976. Liják o úhrnu 100–150 mm/24 hod. vyvolal v malém povodí 157 km<sup>2</sup> průtok 170 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, což odpovídá 500leté vodě.

Území Moravy je odvodňováno z větší části Moravou a Odrou. Vodní toky stékající z východních okrajů České vysočiny jsou ovlivňovány převážně táním sněhu a povodněmi v chladné části roku. Na řece Moravě však převládají povodně letní jako následek orograficky podmíněných déletrvajících dešťů v severní části Moravy, v Hrubém Jeseníku a Moravskoslezských Beskydech. Velký přínos plavenin a splavenin zejména z flyšových pohoří Západních Karpat způsobil zanášení koryt řek jižní Moravy a zmenšení jejich průtočné kapacity. K tomu ještě přistupuje zarůstání koryt rostlinstvem jako následek nadměrného používání dusíkatých hnojiv. K velkým záplavám docházelo také na Dyji, kde byl vybudován systém nádrží a hrází ke snížení nadměrných průtoků. Nádrže na dolní Dyji jsou však ohroženy rychlým zanášením plaveninami [5].

Také na Moravě dochází ke vzniku náhlých povodní po přívalových deštích, a to jak v části flyšové, tak krystalické. V dubnu 1988 byla bleskovou povodní postižena Luka nad Jihlavou, ležící při ústí povodí nálevkovitého tvaru. Při 100 mm úhrnu asi 3 hodiny trvající noční srážky došlo v malém povodí (20,67 km<sup>2</sup>), pokrytém velkými celky polí, dosud bez vegetace a s hustou sítí úpadů, k rychlé kulminaci povodňové vlny. Jejich ničivá síla byla zesílena technickými nedostatky v drenážních systémech povodí. Bylo zaplaveno více než 100 domů a o život přišli dva lidé [11].

Průměrná výše škod způsobených povodněmi se odhaduje na 500 mil. Kčs ročně. V důsledku narušeného biosférického a hydrosférického režimu krajiny dochází dnes k situaci, kdy stejnou výši škod, kterou dříve působily velké povodně s malou pravděpodobností výskytu, mohou dnes způsobit menší, ale častěji se vyskytující objemy [5].

### Eolické ohrožení

Bouřlivé vzdušné proudění s převahou západních směrů souvisí s cyklonální a anti-cyklonální činností ve střední Evropě, ale může být způsobeno i lokální cirkulací vzduchu. Vichřice a větrné smrště, přicházející většinou v létě, vznikají nejčastěji při přechodu studené fronty, na frontálním rozhraní mezi studenými a teplými vzduchovými hmotami. Prudké a ničivé větry trvají od několika minut do několika hodin a působí škody na polích, v lesích, technických zařízeních i budovách. Mezi nejčastěji postižovaná území s rychlostí větru nad 5° Bf (tj. více než 8 m.s<sup>-1</sup>), náleží průchody mezi horskými soustavami (Moravská brána, Napajedelská brána, Věstonická brána), některá údolí (průlomové údolí Jihlavy) nebo horská sedla (Lopenické sedlo). V řadě regionů se uplatňují i místní větry jako fén a bóra. Fén se v zimním a jarním období vyznačuje oteplovacími a vysušnými účinky. Jeho intenzita dosahuje 6° Bf i více, při délce trvání 2 až 6 dní. Nejtypičtěji se projevuje na severozápadních svazích Bílých Karpat, kde na závětrné (moravské) straně vyvolává prachové bouře. Bóra je naopak suchý, studený vítr vanoucí v Moravské bráně. Maximální denní nárazy větru dosahují až 18 m.s<sup>-1</sup>. Dynamické účinky větru vyvolávají větrnou erozi, odnos půdních částic (deflaci) a jejich akumulaci v závětrných polohách. Nejnápadněji se projevuje především deflace, které podléhají všechny druhy půd. Destrukci svrchních půdních horizontů se snižuje úrodnost půdy, obsah humusu a prachových částic. Na eolizovaném korozním povrchu zůstávají pasívní eolické sedimenty – kamenné dlažby. Akumulací transportovaných částic je pohřbívána úrodná půda. Při prашných bouřích se pohybují nejjemnější částice v suspenzi. Mračna prachu zakalují vzduch, snižují viditelnost, ztěžují dýchání a působí

zdravotní potíže. Nejfrekventovanější způsob pohybu půdních částic představuje saltace. V zimním období se střídají prашné bouře se sněhovými vánicemi a v závějích se střídají vrstvy půdy s vrstvami sněhu. Překážky stojící v cestě vzdušnému proudu, unášejícímu půdní částice, způsobují vznik návějí a závějí nejrůznějších tvarů a velikostí, jejichž výška může dosáhnout 2 až 3 m. V oblastech větých písků (Mělnická kotlina, Pardubická kotlina, Dyjsko-svratecký a Dolnomoravský úval) vznikly písečné přesypy. Některé z nich byly do nedávna aktivní a jen s velkými obtížemi stabilizované.

Na území České republiky je větrnou erozí ohroženo asi 35 % zemědělské půdy (4 630 km<sup>2</sup>, z nichž 320 km<sup>2</sup> středně až silně) z toho v Čechách 26 % a na Moravě 45 %, převážně v nejúrodnějších oblastech. Intenzita větrné eroze je místně i časově proměnlivá a její hodnoty leží v rozmezí od slabé do katastrofální. Nejúplnější výsledky o intenzitě větrné eroze byly získány měřením v podhůří Bílých Karpat na jihovýchodní Moravě, v letech 1957 až 1989. Za toto období k větrné erozi nedošlo pouze třikrát, ke slabé erozi došlo pětkrát. Četnější byl výskyt eroze střední až velmi silné. Střední stupeň nastal šestkrát, silný devětkrát a velmi silný rovněž devětkrát. Ke katastrofální erozi došlo v okolí obce Bánov v roce 1972 s intenzitou 200 m<sup>3</sup>/ha/rok<sup>-1</sup> [36]. Údaje z oblasti Bílých Karpat mohou být reprezentativní pro všechny oblasti České republiky. Údaje o četnosti prachových bouří lze doplnit údaji o následcích a škodách, které způsobují. Při katastrofální větrné erozi v roce 1972 bylo z pozemků v Bánově o rozloze 33 ha vyváto celkem 6700 m<sup>3</sup> ornice. Byly přitom zničeny kultury ozimé pšenice a odnesena vrstva ornice mocná až 2 cm. Větší intenzita dosud nebyla na území České republiky zaznamenána. V roce 1957 zde závěj půdy překryla silnicí v délce 400 m. V roce 1965 bylo při prашné bouři v okrese Břeclav zničeno 600 ha cukrovky a tabáku na ploše 36 ha. Ztráty na obilninách dosahují na jižní Moravě řádově stovky tun. Dochází rovněž ke ztrátám minerálních látek obsažených v půdě. Například v roce 1976 byly v Polešovicích zjištěny průměrné ztráty 8,2 tuny fosforu, 19,6 tun draslíku, 5,3 tuny hořčíku z celkové výměry 2396 ha zemědělské půdy [37]. Náhrady za škody poskytované pojišťovnou dosáhly v okresech jižní Moravy v letech 1957 až 1974 téměř 6 milionů Kčs. Průměrná náhrada z jednoho hektaru činila 898 Kčs za rok. Skutečné ztráty na zemědělské půdě se však pohybovaly až do výše 4600 Kčs/ha/rok<sup>-1</sup>.

Výsledkem ničivé činnosti větru jsou také každoroční škody na lesních porostech, způsobené polomy stromů na velkých plochách. Údaje o těchto škodách jsou u nás zaznamenávány již od roku 1821 a kvantitativně vyjadřovány. Například v roce 1868 byly v Čechách poškozeny lesy o rozloze 600 000 ha a objem kalamitního dřeva činil 3,6 milionu m<sup>3</sup>. V letech 1868 až 1870 to bylo již více než dvojnásobek. V roce 1930 bylo v Čechách a na Moravě vytěženo 6 milionů m<sup>3</sup> dřeva z polomů. V letech 1939 až 1942 to bylo dokonce 10 milionů m<sup>3</sup> dřeva. V poslední době se na poškození lesů větrem podílejí i průmyslové emise, které oslabují lesní porosty. Za období 1963 až 1985 bylo v českých zemích zničeno větrem 45,7 milionu m<sup>3</sup> dřevin, z toho jen v roce 1976 5,2 milionu m<sup>3</sup>. Na počátku roku 1990 padlo větrným smrštím za obět 4 miliony m<sup>3</sup>. Vývraty a polomy přispívají v horách ke vzniku lavin a eroze.

Současné se škodami v lesích a na polích dochází k narušení dopravy a k ohrožení staveb a hospodářských zařízení. Silnice a železnice jsou ohroženy závějemi, spadlými stromy a sloupy elektrického vedení. V roce 1957 bylo na Ostravsku v poryvech větru poškozeno 14 a poškozeno 13 000 domů. Kuriózní nehoda se stala v roce 1966, kdy vítr odnesl střechu železniční stanice Kubova Huť a vrhl ji na projíždějící motorový vlak, který vykolejil. Při víchřici byly vzvednuty na Lipenské přehradě vlny vysoké 1,5 m, které poškodily přístaviště. Ve Všerubské vrchovině na Šumavě došlo ke vzniku ničivého tornáda [24]. V roce 1968 způsobila větrná smršť Olga na jižní Moravě během několika minut škody za čtvrt miliardy Kčs. Kromě škod na budovách, strojích, plodinách a zvířatech při ní zahynuli tři lidé. Na letišti v Kunovicích byly smrští smeteny dva hangáry a zničeno letadlo.



1. BULÍČEK, J. (1972): Povrchové vody v Československu a jejich ochrana. Praha, Academia, 354 s.
2. BULÍČEK, J. et al. (1977): Voda v zemědělství. Praha, SZN, 291 s.
3. BUZEK, L. (1983): Eroze půdy. Ostrava, Pedagogická fakulta v Ostravě, 257 s.
4. CZUDEK, T. (1962): Současná stružková eroze na svazích v okolí Bílovce. Přírodovědný časopis slezský, 3, Opava, s. 355–361.
5. ČERVENÝ, J. et al. (1984): Podněbí a vodní režim ČSSR. Praha, SZN, 414 s.
6. DEMEK, J. et al. (1965): Geomorfologie Českých zemí. Praha, Nakl. ČSAV Praha, 336 s.
7. DEMEK, J., SEICHTEROVÁ, H. (1962): Eroze půdy a vývoj svahů v současných podmínkách ve střední části ČSSR. Sborník Čs.spol.zeměpisné, 55, Praha, NČSAV, č.1, s. 25–28.
8. DROZD, K., RYBÁŘ, J. (1983): Indukovaná seismicitá při povrchové těžbě hnědého uhlí. Geologický průzkum, 25, č.2, s. 38–40.
9. GAM, K., STEHLÍK, O. (1956): Příspěvek k poznání stržové eroze na Moravě a ve Slezsku. Sborník ČSSZ, 64, Praha, NČSAV, č.3, s. 214–216.
10. HAVRLANT, M. (1979): Antropogenní tvary reliéfu a životní prostředí v Ostravské průmyslové oblasti. Spisy Pedagogické fakulty v Ostravě 41, 153 s.
11. HRÁDEK, M. (1989): The dangerous role of dells in agricultural landscape of south Moravia (Czechoslovakia). Supplementi di Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, Supplemento II, Torino, s. 51–62.
12. CHAMAS, V., KAKOS, V. (1988): Mimořádná průtrž mračen a povodeň na Jílovském potoce dne 1.7.1987. Sborník ČSGS, 93, Praha, Academia, č.4, s. 265–278.
13. JAŘABÁČ, M. et al. (1979): Měření a vyhodnocování drsnosti koryt na příkladu beskydských toků. Vodní hospodářství, 29, s. 296.
14. JAŘABÁČ, M., ZELEŇ, V., CHLEBEK, A. (1979): Vliv těžebních zásahů na splaveninový režim malých beskydských povodí. In: Sb.Hydrologická problematika při úpravách toků. Karlovy Vary, ČSVTS.
15. JENÍK, J. (1961): Alpínská vegetace Krkonoš, Kralického Sněžníku a Hrubého Jeseníku. Praha, Nakl. ČSAV, 409 s.
16. KOTRNEC, J. (1986): Prostorová a časová proměnlivost erodologického režimu v Jihomoravském kraji v mladším subrecentu. Manuscript, Brno, GGÚ ČSAV, 70 s.
17. LÁZNIČKA, Z. (1957): Stržová eroze v údolí Jihlavy nad Ivančicemi. Práce brněnské základny ČSAV, 29, Praha, NČSAV, č. 9, s. 393–415.
18. MACURA, L. (1966): Úpravy tokov. Praha–Bratislava, SNTL.
19. MAŘAN, B. (1958): Výzkum eroze a protierozních opatření na zemědělských půdách. Praha, Výzk. ústav zem.a les. meliorací ČSAZV.
20. MIDRIAK, R. (1982): Morfogenéza povrchu vysokých pohorí. Bratislava, Veda, 319 s.
21. MOLDAN, B. et al. (1990): Životní prostředí České republiky. Praha, Academia, 284 s.
22. NĚMČOK, A. (1982): Zosuny v Slovenských Karpatoch. Bratislava, Veda, 319 s.
23. NĚMČOK, A., PAŠEK, J., RYBÁŘ, J. (1986): Regionálne zhodnotenie svahových pohybů v ČSSR. In: Progresívne smery v inžiniersko-geologickom výskume. Bratislava, Universita Komenského, s. 111–126.
24. NETOPIL, R. (1956): Periglaciální cyklus a současné geomorfologické procesy v povodí Branné v Hrubém Jeseníku. Sborník ČSSZ, 64, Praha, NČSAV, č. 2, s. 92–99.
25. PECH, J. (1983): Tornádo ve Všerubské bráně. In: Sb. Geografický výzkum v ČSAV, GGÚ ČSAV.
26. PESL, V. (1987): Základní geologická mapa, list Makov, měřítko 1: 25 000. Brno, Ústřední ústav geologický.
27. PROCHÁZKOVÁ, D. (1984): Linie ohnisek zemětřesení v ČSSR. Studia Geographica 87, Brno, GGÚ ČSAV, s. 75–77.
28. PROCHÁZKOVÁ, D. (1988): Zemětřesný roj v západních Čechách 1985–1986. Geologický průzkum, 30, č. 2, s. 33–36.
29. RYBÁŘ, J., DUDEK, J. (1986): Podmínky a faktory sesouvání v třetihorních pánvích. In: Progresívne smery v inžiniersko-geologickom výskume. Bratislava, Universita Komenského, s. 161–167.
30. SCHENKOVÁ, Z., SCHENK, V., KÁRNÍK, V. (1984): Seismotektonická situace Československa ve vztahu ke geologické stavbě střední a východní Evropy. Studia Geographica, 87, Brno, GGÚ ČSAV, s. 147–152.
31. SOKOL, F. (1955): Příspěvek k poznání příčin vzniku povodňových škod v bystřinné oblasti horního toku Moravy. Sborník ČSAZV, Lesnictví 1, Praha, SZN.
32. STEHLÍK, O. (1954): Stržová eroze na jižní Moravě. Práce Brněnské základny ČSAV, 26, Praha, NČSAV, č. 9, s. 201–234.

33. STEHLÍK, O. (1975): Potenciální eroze půdy proudící vodou na území ČSR. *Studia Geographica*, 42, Brno, GGÚ ČSAV, 147 s.
34. STEHLÍK, O. (1981): Vývoj eroze půdy v ČSR. *Studia Geographica*, 72, Brno, GGÚ ČSAV, 37 s.
35. ŠPŮREK, M. (1972): Historical catalogue of slide phenomena. *Studia Geographica*, 19, Brno, GGÚ ČSAV, 179 s.
36. ŠVEHLÍK, R. (1978): Kategorizace orné půdy ohrožené větrnou erozí v jihovýchodní části okresu Uherské Hradiště. *Sborník ČSSZ*, 83, Praha, Academia, č. 1, s. 163–169.
37. ŠVEHLÍK, R. (1983): Větrná eroze půdy na Polešovicu v okrese Uherské Hradiště. *Sb. ÚVTIZ Meliorace* 19(61), Praha, s. 41–50.
38. ŠVEHLÍK, R. (1984): Hrazení strží na jižní Moravě. *Vodní hospodářství*, 4, Praha, SZN, s. 294–296.
39. TOBYAŠ, V., PROCHÁZKOVÁ, D., KNAISLOVÁ, D., MITTAG, R. (1987): Vliv zemětřesení s ohnisky v západních Čechách na svahy v oblasti severočeského hnědouhelného revíru. *Geologický průzkum*, 29, č. 12, s. 357–360.
40. VRBA, M., SPUSTA, V. (1975): Lavinový katastr Krkonoš. *Opera corcontica*, 12, Praha, s. 65–90.
41. ZACHAR, D. (1970): *Erózia pôdy*. Bratislava, Vyd. SAV, 517 s.
42. ZVELEBIL, J. (1984): Skalní řízení u Hřenska a jeho prognózy. *Geologický průzkum*, 26, č. 10, s. 294–296.

## Summary

### RAPID GEOMORPHOLOGICAL HAZARDS IN THE CZECH REPUBLIC

Regional inventory of rapid geomorphological processes forms a part of the IGU Natural Hazards Programme. A concise list containing effects of earthquakes, mass movements, rapid subsidences, erosional processes, and aeolian hazards in the Czech Republic has also been compiled.

Western Carpathians are more vulnerable to strong earthquakes, especially the territory adjoining the line of deep-seated contact with the Bohemian Massif ( $l_0 \approx 8.5^\circ$ ). Weak, mostly tectonic earthquakes transferred from Eastern Alps occasionally occur in the Bohemian Massif. So called earthquake series affect from time to time Western Bohemia. Mass movements hazards form a considerable danger. The West Carpathian flysch belt, margins of the Bohemian Plateau, Neogene basins and volcanic regions with plastic rocks in the base are most vulnerable. Rockfalls occur mostly in deep, incised valleys (Vltava, Elbe), in glacially modelled relief, and on marginal mountains escarpments (in the Ore Mountains). Avalanches are likely to be formed in the highest mountains (the Giant Mountains, the Jeseník Mountains). Rapid soil subsidences have been recorded especially in undermined regions of the Upper Silesian Basin. Piping is rare, especially to a bigger extent. Permeable loesses and non-consolidated clastic sediments occur mostly in Southern Moravia and in the Bohemian Plateau.

Rapid erosional processes are manifested by a certain rise of gully systems and by removal of bed loads and suspended loads in water streams. The density of gully systems in the Czech Republic rises in direction to east, particularly because of increasing human impacts on the natural systems in the landscape and due to a different climate and soil conditions. Many historical and archaeological records inform us about floods. Three types of flooding have been recognized: floods from melting snow, floods caused by local rains in connection with the windward effect (mostly in mountainous regions), and so called flash-floods caused by storm rains. Aeolian hazards manifest themselves in lowlands as dust storms, wind erosion, and forest damages; prevailing winds blow from north-west. Southern Moravia is under significant threat. South-eastern gusty winds with föhn effects, which occur at the foot of the Bílé Karpaty Mountains, are also source of some wind erosion.

Fig. 1 – Part of the Budkovice village, destroyed by a landslide which followed a long-term rain.

Fig. 2 – Forest road in the Bílé Karpaty Mountains, damaged by a landslide.

Fig. 3 – Consequences of a flash-flood (small water stream nearby Tišnov).

(Adresy autorů: M. Hrádek – Ústav geoniky AV ČR, pobočka Brno, Drobného 28, 602 00 Brno, J. Kolečka – Katedra ochrany životního prostředí Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity, Kotlářská 2, 611 37 Brno, R. Švehlík – 687 54 Bánov 362.)

Došlo do redakce 14.2.1993

Lektoroval Václav Král