

Doc. Ing. Jan Rybář, CSc., Ústav struktury a mechaniky homin AV ČR, Praha
Ing. Jan Novotný, CSc., Přírodovědecká fakulta UK, Praha

Vliv klimatogenních faktorů na stabilitu přirozených a antropogenních svahů

Přijato: 24.8.2005, recenzováno: 25.8.2005

Wirkung der klimatogenen Faktoren auf Stabilität von natürlichen und anthropogenen Böschungen

Hier wird es die Wirkung einzelner Klimakomponenten auf die Entstehung und Entwicklung der Böschungsbewegungen in Sedimentärgesteinen des Böhmisches Massivs beurteilt. Die Aufmerksamkeit ist den natürlichen Böschungen gewidmet, aber auch den Störungen auf den künstlich gebildeten Böschungen, wie z. B. die Hänge der Einschnitte, Abschneidungen und Aufschüttungen der Straßen, oder Böschungen der Tagebauen, Kippenböschungen und Deponieböschungen.

Impact of Climatogenic Factors on Stability of Natural and Anthropogenous Slopes

Impact of climate components on slope movements in sedimentary rocks of the Czech Massive has been assessed. Attention is devoted to the natural slopes but also failures in artificially created slopes as the slopes of carfs, half cuts and road dykes, slopes of opencast mines, dump and waste dump slopes.

Влияние климатогенных факторов на устойчивость естественных и антропогенных откосов

В статье обсуждается влияние отдельных компонентов климата на возникновение и развитие откосных свижений в седиментах Чешского Масива. Внимание уделяется естественным откосам, а также нарушениям на искусственно образованных откосах – т.е. на откосах траншей, отрубков и земляных дорог, откосах разрезов, отвалов и свалок отходов.

Vliv klimatogenních faktorů na stabilitu přirozených a antropogenních svahů

Je posuzován vliv jednotlivých složek klimatu na vznik a vývoj svahových pohybů v sedimentárních horninách Českého masívu. Pozornost je věnována přirozeným svahům, ale také poruchám na uměle vytvořených svazích, jakými jsou svahy zářezů, odřezů a násypů komunikací, svahy povrchových dolů, svahy výsypek a skládek odpadů.

Úvod

Svahovými pohyby se rozumí přemísťování horninových hmot na svazích účinkem zemské tíže. Tyto pohyby přirozeného původu i vyvolané lidskou činností patří k velmi rozšířeným geodynamickým jevům, které způsobují v České republice vážné přímé i nepřímé škody na budovách, komunikacích, liniových vedeních, důlních a vodohospodářských stavbách.

Při studiu příčin svahových pohybů jsou analyzovány podmínky, ve kterých svahové pohyby vznikají a faktory, které porušení svahů vyvolávají. Jako *podmínky* jsou označovány geologické, geomorfologické, hydrogeologické a klimatické poměry. Základní význam má geologická stavba svahu. Tu lze na přirozených svazích spolu s geomorfologickými i hydrogeologickými poměry považovat z krátkodobého hlediska za neměnnou. O vlastní aktivizaci pohybů v přirozených podmínkách pak rozhodují variabilní klimatogenní, případně hydrologické faktory. U svahů vytvářených při

povrchové těžbě surovin, ale i při stavební činnosti, je nutno počítat s měnícími se podmínkami během zásahu zemních prací do původního neměnného prostředí. Při výstavbě násypů, výsypek a skládek odpadů se uměle vytváří nové horninové prostředí, které zejména v případě báňských výsypek a skládek odpadů je značně nestejnorodé a většinou nedostatečně definované. Příčinou poruch násypových těles bývá často nedostatečná únosnost podloží. Klimaticky podmíněné faktory působí zpravidla v zastřené formě.

Jako *faktory* jsou označovány přírodní a antropogenní procesy, které ovlivňují stabilitní poměry svahů. Mezi přírodní faktory patří zejména klimaticky podmíněné faktory, ale také přirozená seismická, recentní tektonické pohyby, proces zvětvávání ap. Klimatogenní faktory zahrnují dešťové a sněhové srážky, teplotní změny objemu horninové hmoty, odpar, příp. sublimaci sněhu, narůstání čočkovitého a puklinového ledu, vliv větru. Mezi antropogenní faktory patří odlehčení svahu zemními pracemi, přetížení horní části svahu násypem, skládkou nebo stavební konstrukcí, technická a indukovaná seismická, změna vegetačního pokryvu a způsobu obhospodařování území, ale také změna obsahu vody v horninovém prostředí vlivem úniků vody z vodovodní a kanalizační sítě, i v důsledku zanedbání údržby povrchové a podpovrchové drenáže, někdy i nevhodně cílenou infiltrací srážkových vod do horninového prostředí.

Hlavním (spoušťovým) faktorem je jeden z faktorů, který bezprostředně narušil rovnovážný stav svahu, a tak přispěl ke vzniku, zrychlení nebo oživení svahového pohybu. Jednoznačné stanovení spoušťového faktoru je často obtížné. Stále častěji se potvrzuje, že narůstají negativní vlivy lidské činnosti na chování přirozených i uměle vytvořených svahů. Přitom některé z antropogenních faktorů působí skrytě a jsou obtížně zjistitelné, zejména v případech, kdy působí současně s faktory přírodního původu. Mohou mít i charakter faktoru spoušťového, který nastartuje porušení svahu. Většinou však musí být splněny všechny přírodní podmínky. Mohou však nastat i případy, že jeden z antropogenních faktorů má tak dominující charakter, že dojde k porušení svahu, i když nejsou splněny některé z přírodních podmínek (např. rychlé přetížení horní části dlouhodobě stabilního svahu násypem v období srážkové podnormálního, ap.).

Co nejvěrohodnější stanovení příčin nestability svahu má rozhodující význam pro návrh optimálního způsobu zabezpečení ohroženého nebo porušeného svahu. V podmínkách mírného klimatu střední Evropy je chování svahů ovlivňováno především klimaticky podmíněnými faktory. Platí to zejména pro přírodní svahy, ale v mnoha případech i pro svahy uměle vytvořené lidskou činností při těžbě nerostných surovin (svahy lomů a jejich předpolí, svahy vnitřních a vnějších výsypek), při stavební činnosti (svahy odřezů, zářezů a těles násypů), případně ukládáním odpadů (svahy skládek odpadů).

K nejrozšířenějším druhům svahových pohybů v Čechách i ve střední Evropě patří *sesuvy*, tj. relativně rychlé klouzavé pohyby horninových hmot podél jedné nebo více průběžných smykových ploch /2/. V reliéfu pahorkatin a vrchovin vznikají navíc zemní a přívalové proudy, kdy se vodou nasycené nepevněné hmoty přemísťují po povrchu terénu na větší vzdálenosti. Citlivost sesuvných pohybů na klimatické výkyvy je ovlivňována řadou parametrů. Snižuje se s narůstající hloubkou a objemem svahové deformace i s narůstajícím stupněm zpevnění, u zemin je ovlivňována změnou smykové pevnosti v závislosti na obsahu vody v zemině.

V regionech budovaných skalními horninami se vyskytují katastroficky rychlé pohyby skupiny *řícení*. Jde o náhlý krátkodobý pohyb horninových hmot na strmých

svazích, přičemž se postižené hmoty rozvolní a ztrácejí krátkodobě kontakt s podložím. Při pohybu se přednostně uplatňuje volný pád. Ohrožení životů i majetku obyvatel je značné. V České republice dochází k nebezpečným případům řícení skalních bloků především v České křídové tabuli, například v CHKO Labské pískovce. Vliv srážek ustupuje do pozadí a naopak rozhodující podíl na deformacích mají denní a sezónní výkyvy teploty.

Zdánlivě nejméně nebezpečné jsou pomalé a velmi pomalé pohyby, kde je převládajícím mechanismem **hlubinné ploužení**. Z geologického hlediska jde o dlouhodobý, zpravidla se nezrychlující pohyb horninových hmot na svahu, přičemž hranice vůči pevnému podloží je ve většině případů nezřetelná. Rychlost je tak nízká, že v terénu nejsou pohyby přímo pozorovatelné a je jim většinou přisuzováno fosilní stáří. Nejsou-li však plouzivé deformace včas odhaleny a respektovány při stavební nebo důlní činnosti, může již sebemenší nesprávný zásah vést ke zrychlení pohybů, které mohou přerůst v sesouvání nebo řícení katastrofálního rázu. Dlouholetá měření pohybů na přirozených svazích postižených hlubinným ploužením nejčastěji potvrzují stálou rychlost pohybů, zpravidla nepřesahující několik milimetrů za rok. Rychlost není ovlivňována sezónními klimatickými výkyvy. Je však zřejmé, že i tyto v hloubce masívu založené deformace reagují na cyklické změny klimatu, ale jde o cykly podstatně vyšších řádů (v desítkách, příp. stovkách let).

V přírodních podmínkách se uplatňují **klimatické cykly** různých řádů: cykly denní, sezónní, víceleté, klimatické výkyvy v holocénu a v pleistocénu. Denní výkyvy teploty se uplatňují při rozvolňování skalních svahů a při vzniku padání kamenů a malých odvalových řícení. Krátkodobé, ale intenzivní srážky jsou často spouštěcím faktorem svahových pohybů typu stékání. Sezónní a víceleté cykly změn srážek a teplot ovlivňují vývoj mělkých i hlubokých sesuvů, uplatní se při přípravné fázi aktivace zemních a přivalových proudů; a zčásti i malých řícení. Významná je víceletá periodicitu, která je nejčastěji spojována se solární aktivitou.

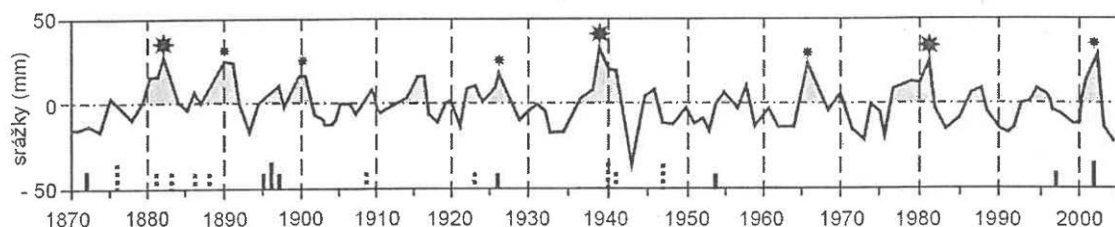
Vliv klimatu na aktivitu středně hlubokých a hlubokých sesuvů

Pro sesuvy středně hluboké (cca 4 až 10 m) a hluboké (hlubší než 10 m) je rozhodující dlouhodobá srážková bilance, která je v přímém souladu s nasycením masívu vodou. Pro aktivaci pohybů musí být zpravidla dosažena určitá kritická úroveň zvodnění. V jílovitých, jílovitoprachovitých a slinitých horninách sedimentárních pánví Českého masívu taková situace většinou nastává teprve po dvouletém až tříletém období abnormálních dešťových srážek /5/. Pro pelitické horniny české křídý toto ověřil profesor Quido Záruba /11/, ale platí to také pro podkrušnohorské terciérní pánve a zčásti i permokarbonské pánve Českého masívu.

Jsou sestavovány křivky tzv. dvouletých nebo tříletých postupných srážkových úhrnů. Jejich průběh dobře koreluje se změnou zvodnění v jílovitém horninovém prostředí. Na obr. 1 je zobrazena čára dvouletých rozptýlených srážkových úhrnů pro území středních a severních Čech. Z obrázku je patrné, že dlouhodobá srážková bilance v hodnoceném časovém úseku od roku 1870 do roku 2004 má cyklický charakter, kdy se střídají období nadnormálních srážek s obdobím srážek podnormálních, přičemž určitý trend může přetrvávat i několik desítek let. V Čechách lze například sledovat období podnormálních srážek v letech 1942 až 1963. Naopak na srážky bohaté bylo období 1880 až 1901, ale také válečná léta 1939 až 1941 a období 1980 až 1982. Obdobný kolísavý průběh má vývoj srážek, ale i teplot ve střední Evropě v průběhu celého posledního tisíciletí.

Období lavinovitého výskytu sesuvů

Období označená v obr. 1 velkou hvězdičkou se projevila lavinovitým výskytem sesuvů na území Českého masívu. V extrémních meteorologických situacích došlo k maximálnímu nasycení svahů v širokém regionu nebo v několika regionech současně. Příkladem je zimní období 1981 - 1982 v severní polovině Čech i v obdobných zeměpisných šířkách západní Evropy. Jednou z oblastí, kde došlo v závěru roku 1981 k rozsáhlým sesuvným pohybům je okolí obce Třebenice u Litoměřic. Byla přerušena železniční trať mezi obcemi Třebenice a Dlažkovice, ale také státní silnice mezi Třebenicemi a Podsedicemi. Dne 12. listopadu 1981 byl zaznamenán sesuv proudového tvaru v předpolí cihlářského závodu v Řepově v Pojizeří (rozběr viz níže). Prakticky ve stejném období vznikly četné další sesuvy v regionu křídových pánví, terciérních pánví i v regionu neovulkanitů Českého masívu. Například v Domousnici cca 10 km od Řepova byl v prosinci 1981 a v lednu 1982 sesouváním vážně ohrožen provoz na železniční trati; objevily se sesuvy na svazích Kosmonoské výšiny, a také u obce Samšina mezi Sobotkou a Jičínem. Škody způsobily v této době sesuvy na pravém břehu Ohře v Žatci. K řadě sesuvů došlo také v severočeské hnědouhelné pánvi. V listopadu 1981 vznikly například obtíže se sesuvy na staré převýšené vnitřní výsypce lomu Jan Šverma proti bývalé elektrárně Ervěnice. Kolem 7. prosince 1981 byly postiženy několika sesuvy svahy v lomu Pokrok u Duchcova.



Obr. 1 Dvouleté rozptýlené roční úhrny srážek pro území středních a severních Čech. Větší hvězdičkou je označeno oživení sesuvné činnosti velkého rozsahu, menší hvězdičkou oživení lokálního významu. Na dolní ose je plnou čarou znázorněn výskyt největších letních povodní a tečkovanou čarou výskyt povodní předjarních.

Pro jmenované a další neuvedené sesuvy ze závěru roku 1981 a začátku roku 1982 bylo typické, že v určitém území docházelo v krátkém časovém úseku současně k porušení všech labilních partií svahů. Toto se zvláště výrazně projevilo v témže období i v terciérní výplni rýnského prolomu ve spolkové zemi Porýní-Vestfálsko v Německu, kde bylo během 1. a 2. ledna 1982 zaznamenáno přes 200 hospodářsky významných sesuvů. K lavinovitému vzniku sesuvů došlo v první polovině ledna 1982 také na mořském pobřeží v Normandii, i v dalších částech Francie a Španělska.

V období lavinovitého oživení sesuvů na přelomu let 1981 a 1982 se v Českém masívu vyskytlo několik případů, kdy tím rozhodujícím spouštěcím faktorem nebyly dešťové srážky, ale faktor antropogenního původu. Východně od obce Hořetice na levobřežních svazích potoka Hutná začala začátkem roku 1982 narůstat aktivita sesuvných pohybů. S odstupem několika měsíců však deformace pokračovaly zcela nezávisle na klimatickém faktoru. Bylo prokázáno, že porušení stability svahů v údolí

potoka Hutná souvisí s provozem odkaliště elektrárenských popílků, které je vzdáleno asi 3 km od Hořetic. Odpadní vody prosakují miocenními jílovitými sedimenty s vložkami písků. Přes sanační opatření se sesuvné pohyby stále rozrůstaly a tak v 90. letech 20. století došlo až k zániku části obce Hořetice. Začátkem prosince 1981 ohrozil sesuv proudového tvaru zástavbu v ulici U Nikolajky v Praze - Smíchov. Jako hlavní spouštěcí faktor se uplatnila havárie vodovodního potrubí ve vilové čtvrti nad odlučnou oblastí sesuvu. Po odstavení vodovodu z provozu se sesuvné pohyby zastavily.

Léta 1981/1982 představují anomálii v dlouhodobé bilanci dešťových srážek, která je srovnatelná s dalšími obdobími, známými jako vrcholy četnosti sesuvných jevů v Čechách i v okolních zemích. Platí to zejména pro léta 1939 až 1941, kdy se vliv nadměrných srážek navíc zvýraznil nižšími průměrnými teplotami. Dalším významným obdobím byla léta 1882 až 1883. Řada dalších vrcholů součtové čáry, označených v obr. 1 menší hvězdičkou, se zpravidla projevila vznikem deformací katastrofického rozsahu pouze v jedné z modelových oblastí anebo jen v některé její části. Např. v letech 1897 až 1900 byly postiženy především střední a severní Čechy; tehdy byla zničena obec Klapý pod hradem Hazmburk. V roce 1926 se sesouvaly především svahy v Pojizeří; v červnu zde byla zničena větší část obce Dneboh na západním okraji Příhrázské vrchoviny. Se zvýšeným výskytem sesuvů je rovněž spojeno období let 1965 až 1966 (zčásti i rok 1970). Koncem května 1965 vznikl například 200 m dlouhý sesuv proudového tvaru v obci Horní Chobolice u Litoměřic. Dne 28. května 1965 zavalil skalní sesuv rodinný dům na levém břehu Berounky v obci Karlštejn. V letech 1995 až 1996 byla zaznamenána řada nebezpečných sesuvů ve středních a severních Čechách /4/.

Ke zvýšení aktivity sesuvných pohybů došlo také v zimním období 2002/2003. Od podzimu roku 2000 docházelo vlivem srážkové činnosti k postupnému nárůstu hladin podzemní vody, které kulminovaly ve druhé polovině roku 2002, zejména po období ničivých povodní v srpnu 2002. V zimním období od srpna 2002 do ledna 2003 byly zaznamenány desítky porušených svahů vesměs antropogenního původu /7/. Nejčastěji byly porušeny svahy zářezů a odřezů silničních komunikací, ale také svahy odřezů a násypů železničních drah. Sesuvné jevy se objevily zejména v územích budovaných pelitickými horninami křídového a terciárního stáří. Oproti tomu v regionu krystalinika Českého masívu v jižních a jihozápadních Čechách v horninách odolných k sesouvání se poruchy vyskytly ojediněle, i když zde extrémní dešťové srážky a ničivé povodně v srpnu 2002 dosáhly nejvyšších hodnot. I když od začátku ledna 2003 měla srážková bilance již výrazně klesající tendenci, byly ještě 4. ledna 2003 zaznamenány 3 rozsáhlé sesuvy na jihovýchodním okraji staré rekultivované výsypky bývalého hnědouhelného lomu Hrabák u obce Čepirohy (obr. 2). Těleso výsypky tvořené převážně jílovitými skrývkovými zeminami bylo v době vzniku havárie silně zvodnělé. V čelní oblasti sesutých hmot byla zaznamenána řada vývěrů podpovrchových vod (obr. 3). Aktivní sesuvy vznikly v místech, kde docházelo k sesouvání i v době výstavby výsypky (Registr sesuvů Geofondu; sesuvný jev č. M-33-52-C-a - 2). Instruktivní příklad dokumentovali pracovníci akciové společnosti GeoTec-GS na železniční trati Plzeň - Domažlice. V období extrémních srážek v srpnu 2002 došlo ke ztekucení jílovito-písčitého materiálu násypu, přimknutého k levému břehu rozvodněné řeky Radbuzy (obr. 4).

S cílem posoudit do jaké míry souvisejí sesuvné kalamity v Českém masívu s ničivými povodněmi je na dolní ose obr. 1 znázorněn výskyt velkých letních povodní (plnou čarou) a předjarních povodní (tečkovanou čarou). Zatímco „letní“ povodně souvisejí s přívalovými srážkami nebo s déle trvajících nadměrnými srážkami,

„předjarní“ povodně vznikají zejména při náhlém tání sněhové pokrývky vlivem dešťových srážek a jsou často spojené s ledovými zácpami /8/. Výskyt ničivých povodní v čase je nerovnoměrný obdobně jako střídání období nadnormálních srážek s obdobími srážek podnormálních. Na obr. 1 jsou vynesena léta s povodněmi na Labi v Děčíně a na Vltavě v Praze, přičemž více než polovina spadá do období 1872-1900; časté byly povodně i v předcházejícím období 1830-1869, nezachyceném na grafu. Šlo většinou o předjarní povodně, které téměř vymizely po dobudování kaskády vodních děl na Vltavě v 50. letech 20. století. Je zřejmé, že většinou nedochází k souběhu sesuvných kalamit a ničivých povodní. Nepřekvapuje to u předjarních povodní, spojených s táním a často s ledovými zácpami. Je zjevné, že většina letních povodní vzniká v obdobích kladné srážkové bilance, kdy je horninové prostředí nadprůměrně zvodněné z předcházejících období. Jen výjimečně však dochází k časovému souběhu vrcholu sesuvné kalamity s katastrofickou povodní.

Modelové sesuvné území u Třebenic

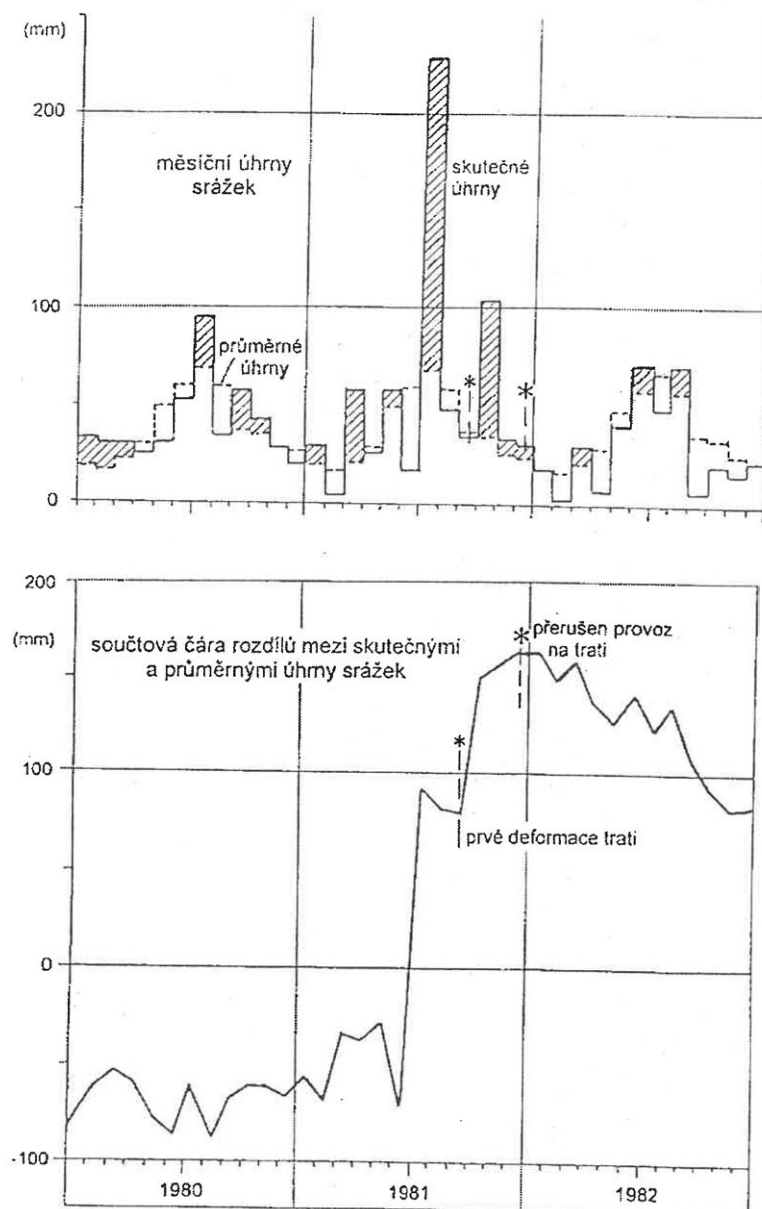
Od roku 1982 je systematicky sledována modelová lokalita u Třebenic na Litoměřicku. Jde o jediný dlouhodobě monitorovaný sesuv na území Českého masívu /3/. Ve zvětralinovém plášti vápnitých jílovců české křídové tabule zde opakovaně vznikají sesuvy o mocnosti 6 až 10 m. Velké deformace nastaly v této oblasti již v roce 1939, ale také v roce 1970. Na rozhraní let 1981 a 1982 zde byla zničena a na dlouhou dobu přerušena železniční trať i silnice. Objasnění vztahu mezi dešťovými srážkami a sesuvnými pohyby poskytuje obr. 5. Z grafu měsíčních úhrnů srážek (obr. 5 nahoře) vyplývá, že vzniku havarijních sesuvů ze závěru roku 1981 předcházelo období nadměrných dešťových srážek, kdy zejména v červenci a poté v říjnu 1981 dešťové srážky vysoko překročily dlouhodobý průměr. K vyvolání sesuvných deformací, které způsobily přerušení provozu na trati, došlo až ve druhé polovině prosince 1981. Tehdy dosáhla extrémních hodnot i celková dlouhodobá bilance dešťových srážek. Toto ukazuje graf na obr. 5 dole, který představuje vyjmutý úsek ze součtové čáry rozdílů mezi skutečnými a dlouhodobými průměrnými měsíčními úhrny srážek. Vrcholová partie součtové čáry je v souladu s obdobím aktivizace havarijních sesuvů. Než došlo k zastavení provozu na trati, byly na kolejích pozorovány již od poloviny září 1981 drobné deformace.



Obr. 2 Odlučné oblasti sesuvů, které postihly svah rekultivované výsypky bývalého hnědouhelného lomu Hrabák u obce Čepirohy (Foto T. Nýdl, leden 2003)



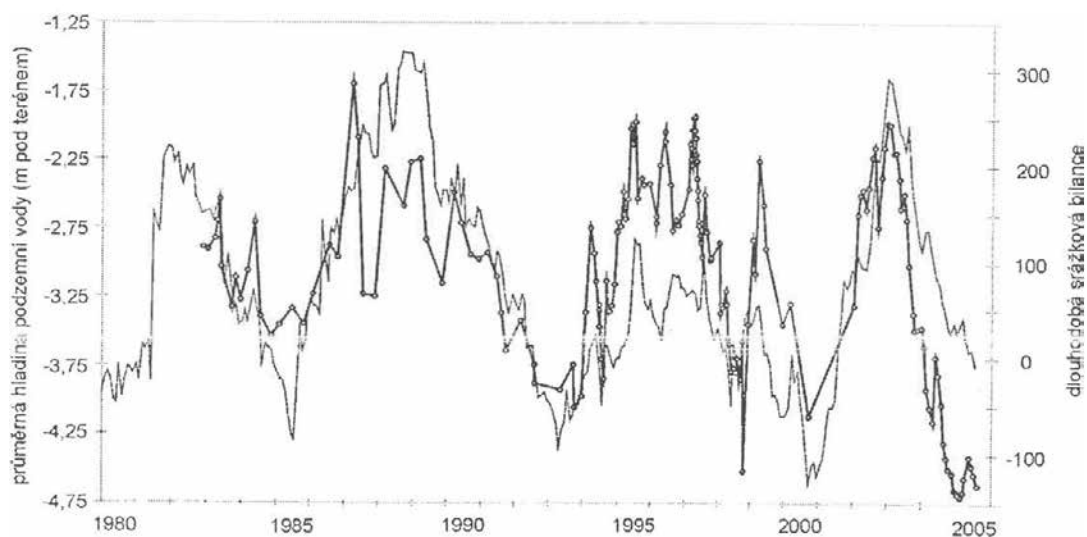
Obr. 3 Čelní oblasti sesuvů na rekultivované výsypce byly silně zvodnělé; v mrazivém počasí vznikaly ledopády (Foto T. Nýdl, 8. ledna 2003)



Obr. 5 Rozbor vlivu srážek na oživení sesuvů v letech 1981 a 1982 na železniční trati u obce Třebenice /5/

Výsledky dlouhodobého sledování u Třebenic jsou využívány k zobecňujícímu hodnocení vztahu mezi kolísáním hladiny podzemní vody, klimatickými vlivy a aktivitou sesuvných pohybů. Srážkovou a hydrogeologickou situaci období let 1982 až 2005 ilustruje graf na obr. 6. Tučná čára představuje kolísání hladiny podzemní vody na příkladu průměrné hladiny získané zprůměrováním záznamů ze sedmi v současnosti funkčních hydrovrtů (směrem do minulosti byl počet hydrovrtů vyšší). Na křivce je patrné, že hladina podzemní vody klesá nejenom v sezónním cyklu, výrazné jsou především několikaleté oscilace. Na jednotlivých vrtech se ukázal maximální rozkyv hladin až 7 m, kdy hladina podzemní vody kolísá v hloubkovém intervalu –1 až –8 m pod terénem. V celém sledovaném intervalu lze pozorovat trend mírného zaklesávání hladiny podzemní vody. Při srovnání záznamu dlouhodobých i sezónních oscilací

s křivkou srážkové bilance, získané jako součtová čára rozdílů aktuálních měsíčních úhrnů srážek a jejich dlouhodobých úhrnů získaných ze srážkoměrné stanice ČHMÚ Doksany (tenká čára), vyplývá významná klimatická podmíněnost oscilací hladiny podzemní vody. Na srážkově dlouhodobě nadprůměrná období jsou vázána dlouhodobá maxima v úrovni hladiny podzemní vody, naopak srážkově dlouhodobě podprůměrné období se projevuje postupným zaklesáváním hladiny podzemní vody. Z podrobného rozboru klimatických údajů při započítání vlivu výparu se ukazuje, že pro zvyšování úrovně hladiny podzemní vody mělkého kolektoru křídových jílovců jsou v podnebí mírného klimatického pásu v prostoru střední Evropy rozhodující především srážky velmi pozdního podzimu a sněhové srážky v zimních měsících, které se aktivně projevují po rozmrznutí v období jarního tání. Tento efekt dobře dokladují výsledky měření sání prováděné na lokalitě na tenzometrech umístěných v nenasycené zóně v hloubkách -1 a -2 m pod terénem. V posledním období hladina podzemní vody kulminovala ve srážkově extrémním srpnu 2002, a poté v prosinci 2002 až v lednu 2003. Nárůst srážkové bilance ustal v lednu 2003. Od té doby dochází především na území západních a severních Čech, ale i v jiných částech republiky, ke generálnímu kontinuálnímu zaklesávání hladiny podzemní vody mělkých kolektorů v málo propustných horninách. Drobnými výjimkami v tomto trendu jsou málo výrazné dílčí jarní až časné letní kulminace hladiny podzemní vody zaznamenané v tomto období. Zajímavou je skutečnost, že srážkově nadnormální období let 1987 až 1988 se neprojevovalo žádnou zvýšenou sesuvnou aktivitou, což je patrné i z obr. 1. Diskuse k této otázce je zahrnuta do publikace /3/.



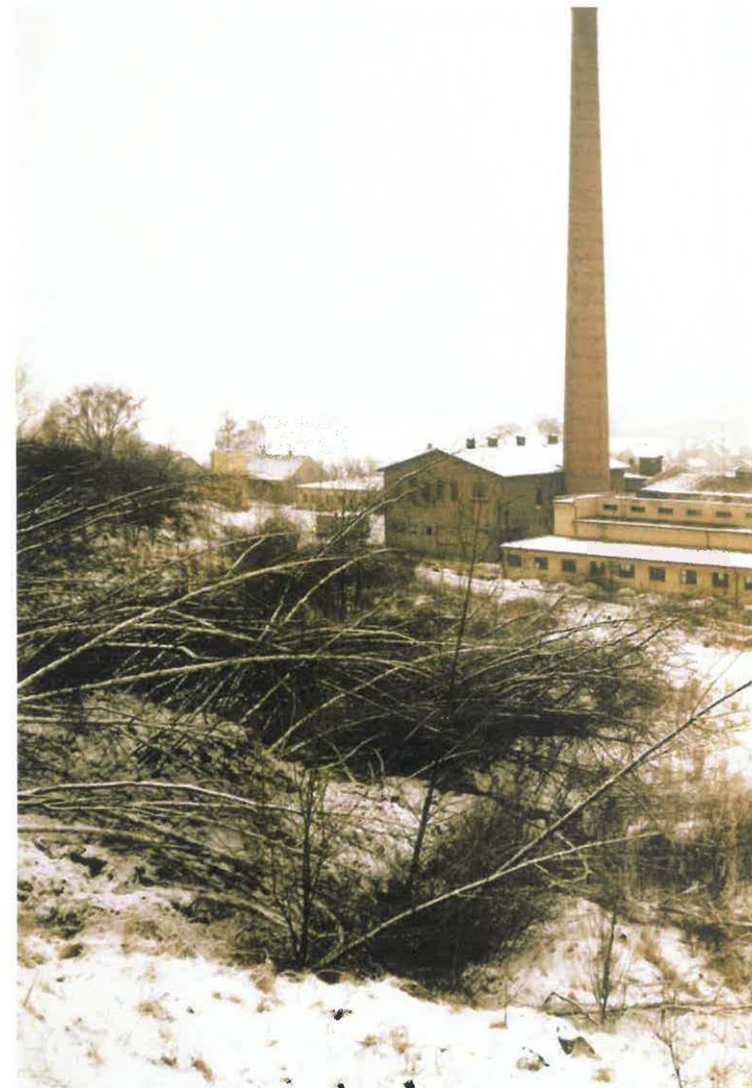
Obr. 6 Vztah kolísání hladiny podzemní vody (tučná čára) a dlouhodobé srážkové bilance (tenká čára) na modelové lokalitě Třebenice

Vliv klimatu na vývoj mělkých sesuvů a zemních proudů

S přímějším vztahem mezi dešťovými srážkami, změnami teploty a oživením pohybů se setkáváme u svahových pohybů, kterými jsou postiženy málo mocné pokryvné útvary, příp. jen jejich povrchové části. Proces sesouvání často přechází do procesu stékání, které představuje krátkodobý pohyb horninových hmot ve viskózním



Obr. 4 *Železniční těleso přimknuté ke břehu řeky Radbuzy u obce Hradec u Stodu bylo porušeno náhlým ztekucením jílovito-písčitého materiálu násypu (Foto M. Šedivý, srpen 2002)*



Obr. 7 *Čelo sesuvu proudového tvaru ohrožovalo objekty cihelny v Řepově u Mladé Boleslavi (Foto J. Rybář, leden 1982)*

stavu. Mělké sesuvy bývají mocné od několika decimetrů do několika metrů. Rozhodující pro jejich vznik je vytvoření lokální občasné zvodně, zpravidla oddělené od hlouběji zakleslé trvalé zvodně. Většinou není nutné hluboké nasycení masívu, ale stačí krátkodobé intenzivní promočení povrchové části svahu při krátkodobých přívalových srážkách nebo po tání sněhové pokrývky.

V umělých odřezech a zářezích komunikací jsou časté případy vzniku drobných mělkých sesuvů a stékání povrchových vrstev v namrzavých jílovitopísčitých a v prachovitých zeminách při jarním tání po zimním období se silnými mrazy. K obohacení povrchové části svahů vodou dochází při procesu promrzání, kdy voda z podloží migruje k ochlazovanému povrchu, v jehož blízkosti narůstá čočkovitý led. Během tání se uvolňuje přebytečná voda, což vede ke změně konzistence postižených zemin a k jejich následnému sesouvání, příp. stékání.

Se zvyšujícím se obsahem vody přecházejí mělké povrchové sesuvy do zemních a bahnitých proudů. Zatímco u sesuvů se setkáváme s rychlostí až v m/h, u proudů až v km/h. Typické příklady zemních proudů se vyskytují mimo území Českého masívu v inženýrskogeologickém regionu flyše Západních Karpat. K lavinovitému výskytu zemních proudů, ale i sesuvů, došlo v období mimořádně nadnormálních srážek, které mezi 5. až 9. červencem 1997 postihly východní polovinu České republiky /6/. V tomto srážkově nejvydatnějším období spadlo 450 až 600 mm (zaznamenané maximum 617 mm) srážek. Místa překročily srážkové úhrny až 500 % dlouhodobého měsíčního normálu. V povodí Odry a Moravy se současně vyskytly ničivé povodně, při nichž v České republice zahynulo 48 lidí. V územích s nejprůzračnějšími geologickými, morfologickými a hydrogeologickými poměry pro vývoj svahových deformací extrémní srážky vyvolaly pohyby lavinovitého charakteru. Projevila se specifická prostředí karpatského flyše, kdy se střídají horniny rigidní, silně rozpukané propustné a horniny víceméně plastické, málo propustné. Během intenzivních dešťů došlo k rychlé infiltraci srážkových vod do horninového masívu, kde byly zcela prosyceny propustné pískovce i připovrchová zóna. Po ukončení dotace ze srážek proběhlo rychle gravitační odvodnění. Většina vzniklých svahových pohybů měla krátkodobý, ale nebezpečně rychlý průběh. Potvrdilo se, že v pahorkatinách, vrchovinách a hornatinách regionu karpatského flyše může dojít k lavinovitému porušení stability svahu po krátkodobých intenzivních srážkách i v případech, kdy předcházející období bylo srážkově podnormální.

Odlišnost přirozených a antropogenních svahů ve vztahu ke stabilitě

Oproti přirozeným svahům se uplatňují při řešení stability svahů ve stavebnictví a při těžbě surovin značně rozdílné přístupy:

Ve stavebnictví, a to zejména u liniových staveb, je možno se vyhnout vhodným umístěním stavenišť oblastí s nepříznivými podmínkami stability; naopak při lomovém dobývání je místo těžby vázáno jednoznačně na výskyt ložiska.

Svahy vytvářené při lomové těžbě surovin jsou mnohem rozsáhlejší a vyšší, než jaké se normálně vyskytují ve stavebnictví, což ztěžuje možnost prognózy jejich porušení. Speciální průzkumné a sanační práce, běžné pro zajištění stability svahů ve stavebnictví, se jeví při povrchovém dobývání jako nevhodné.

Svahy ve stavebnictví jsou zpravidla navrženy tak, aby zůstaly stabilní desítky až stovky let, zatímco v povrchových dolech jen na dobu životnosti těžby – pracovní

svahy na dobu několika týdnů až měsíců, závěrné na několik let; jen výjimečně na několik desítek let.

Opatrnější přístup k návrhům svahů ve stavebnictví oproti těžbě surovin je ovlivněn také společenskými důsledky. Zatímco ve stavebním inženýrství je každý havarijní případ úzkostlivě sledován veřejností, při lomovém dobývání jsou menší havárie považovány za vnitřní záležitost důlního provozu, který s nimi často dokonce v rámci přípustného rizika předem počítá.

S výškou svahů roste tlak na projektanta lomu, aby navrhl jeho svahy co nejstrmější, neboť s exponenciální křivkou narůstá objem skrývkových prací. Snaha o zestrmení vysokých svahů je ovšem v rozporu s přirozeným chováním svahů, neboť kritický úhel svahu s výškou klesá. Ve stavebnictví nemá zestrmení svahů zdaleka takový efekt.

Pro důlní provoz je typická snaha dosahovat co největší těžby surovin při co nejnižších provozních nákladech.

Ukazuje se, že vlivem havárií svahů dochází ve stavebnictví častěji k ohrožení lidských životů než v povrchových dolech. V lomech se pohybuje poměrně nízký počet pracovníků, kteří jsou zpravidla rozptýleni a mají možnost se včas vzdálit od deformujícího se svahu. Navíc se u nich dlouholetým pobytem ve stejném pracovním prostředí vyvinula schopnost pozorně vnímat každou změnu chování horninového masívu, což na staveništích přichází v úvahu jen v omezené míře. Časté smrtelné úrazy, spojené se stabilitou svahů ve stavebnictví, vznikají především při sesutí stěn nedostatečně zabezpečených výkopů, kde se pohybují pracovníci.

Příklady uplatnění klimatogenních faktorů na antropogenních svazích

Sesuv u Řepova

Sesuv u Řepova je příkladem, kdy dochází opakovaně k porušení stability svahu v minulosti zasaženého lomovou činností. Území je budováno spodnokřídovými vápnitými jílovci a prachovci, v horní části s vložkami pískovců. Na bázi pískovců jsou vázány vývěry podzemních vod. Těžbou cihlářské suroviny byla v první polovině 20. století narušena pata svahu přiléhající z jihu k prostoru cihelny. Surovina byla těžena asi od roku 1880, ale zintenzivnění těžby nastalo až po roce 1929, kdy byla uvedena do provozu nová kruhová pec. Odtěžování hmot v dolní části svahu, který byl i bez nepříznivého zásahu lidské činnosti značně citlivý na vznik sesuvných pohybů, mělo za následek značné porušení jeho stability. K největším sesuvným pohybům ve svahu nad cihelnou došlo v letech 1939 až 1941, což je známé období kumulace sesuvných jevů v závislosti na abnormálních dešťových srážkách. Pohyby však pokračovaly i později, přičemž velmi znesnadňovaly těžební práce. Současně hrozilo nebezpečí, že bude poškozena silnice Jemníky - Bojetice, ležící nad odlučnými oblastmi sesuvů. Proto byla těžba cihlářské suroviny v prostoru jižně od cihelny asi v letech 1950 až 1952 ukončena a byla přemístěna do prostoru východně od cihelny dostatečně daleko od paty svahu. Pohyby se postupně uklidnily.

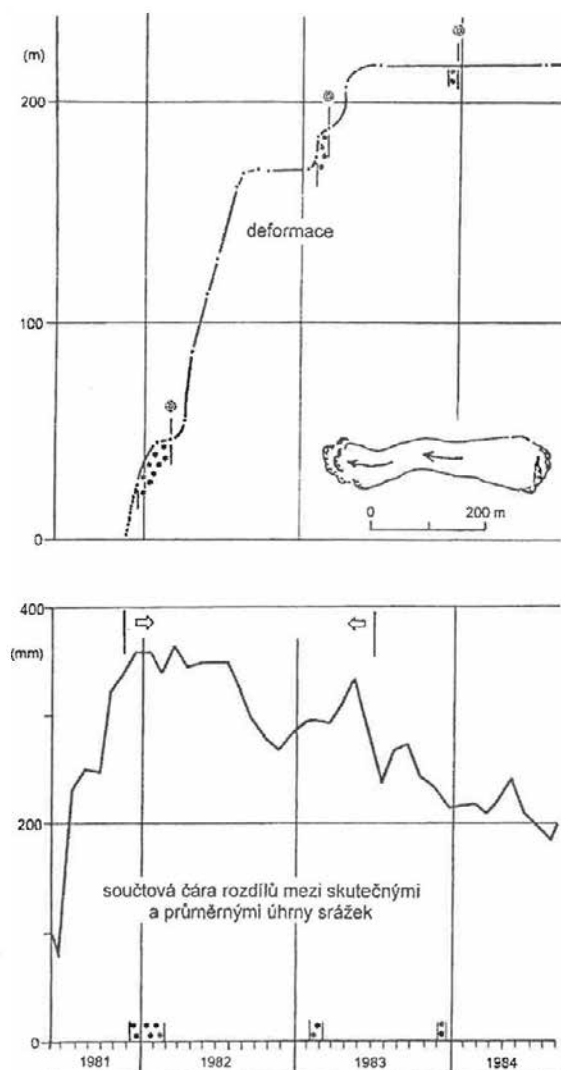
V závěru roku 1981 však došlo k obnovení sesuvných pohybů v míře nebezpečné pro existenci objektů cihlářského závodu. Vedle několika menších sesuvů na okolních svazích vznikl sesuv proudového tvaru, směřující na hlavní objekt cihelny (obr. 7). Dosáhl délky 350 m, jeho šířka se pohybovala od 60 do 110 m, mocnost sesouvajících se hmot kolísala od 2 do 4 m. Generelní sklon porušeného svahu byl 9°.

Došlo k oživení pohybů, které se ve stejném místě vyskytly již několikrát v minulosti. Pohyb monitorovaných bodů na povrchu sesuvného proudu byl velmi nerovnoměrný, jak z časového, tak z prostorového hlediska. Rychlost pohybu se měnila v závislosti na atmosférických srážkách, na změnách teploty a na poloze uvnitř proudu. Nejvyšší dosažená rychlost byla 5 m/den. Uklidnění pohybů bylo zaznamenáno až v létě roku 1983. Později byl svah nad cihelnou v Řepově pasivním způsobem sanován.

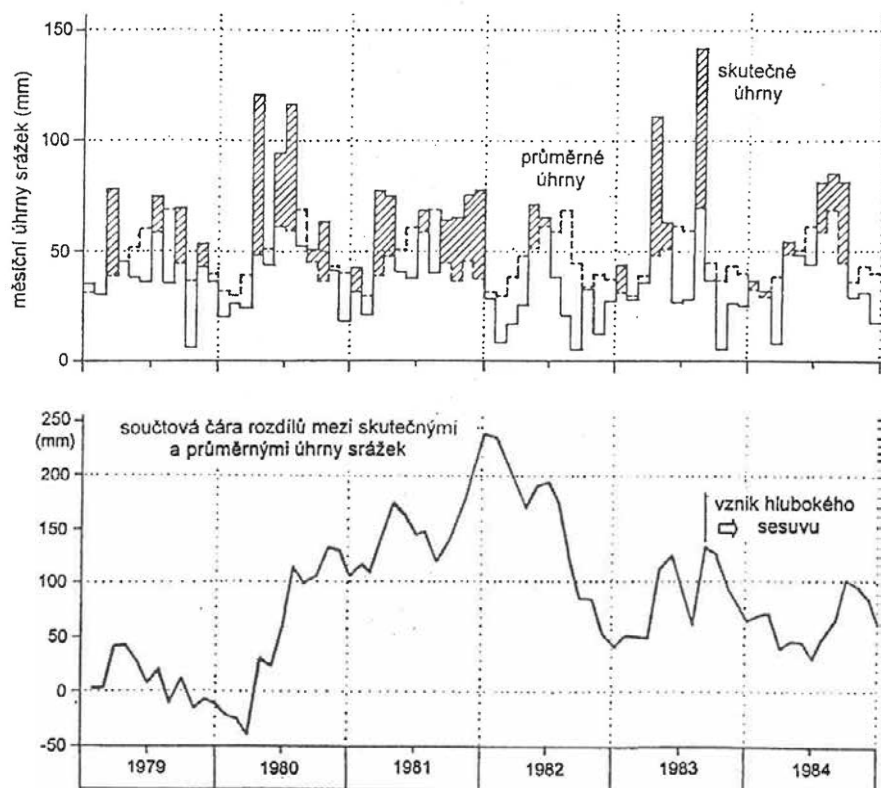
Vysvětlení vlivu klimatogenních faktorů pro načasování vzniku havarijního sesuvu v Řepově poskytuje obr. 8. Součtová čára rozdílů mezi skutečnými hodnotami měsíčních úhrnů srážek a mezi dlouhodobými měsíčními průměrnými úhrny srážek ze srážkoměrné stanice ČHMÚ Semčice přibližně simuluje změny nasycení horninového prostředí vodou. Vrcholový úsek křivky se kryje přesně s obdobím aktivace sesuvu. Je analyzován vztah mezi dešťovými srážkami, obdobím mrazů (užit symbol vloček), obdobím tání (symbol slunce) a mezi vývojem deformací. Pohyby jednoznačně povrchového charakteru citlivě reagují na kolísání srážkové bilance, na promrzání i na tání.

Sesuv lomu Zwenkau u Lipska

S reakcí na dlouhodobou srážkovou bilanci se setkáváme i u sesuvů hlubokých až několik desítek metrů. V létě 1983 byl na svazích jámy bývalého hnědouhelného lomu Zwenkau u Lipska v Sasku zaznamenán hluboký sesuv laterálního typu, který zasahuje až do hloubky kolem 50 m /1/. Při sestavení součtové čáry rozdílů mezi skutečnými a průměrnými úhrny srážek se projevila hlavní kulminace srážek na začátku roku 1982 (obr. 9), obdobně jako u součtových čar sestavených pro lokality v Českém masívu (např. obr. 5 a 8). Pohyby nastartovaly až po druhé dílčí kulminaci součtové čáry srážek v období srpen - září 1983. Prvá dílčí kulminace z období duben - květen 1983 zůstala bez odezvy. Více než jeden a půlleté zpoždění aktivace pohybů za hlavním vyvrcholením srážkové bilance lze odůvodnit značnou hloubkou zóny porušení pod povrchem terénu.



Obr. 8 Hodnocení vztahu mezi dešťovými srážkami, obdobím mrazů a tání a mezi aktivitou sesuvu proudového tvaru, který ohrožoval v letech 1981 až 1983 objekty cihelny v Řepově

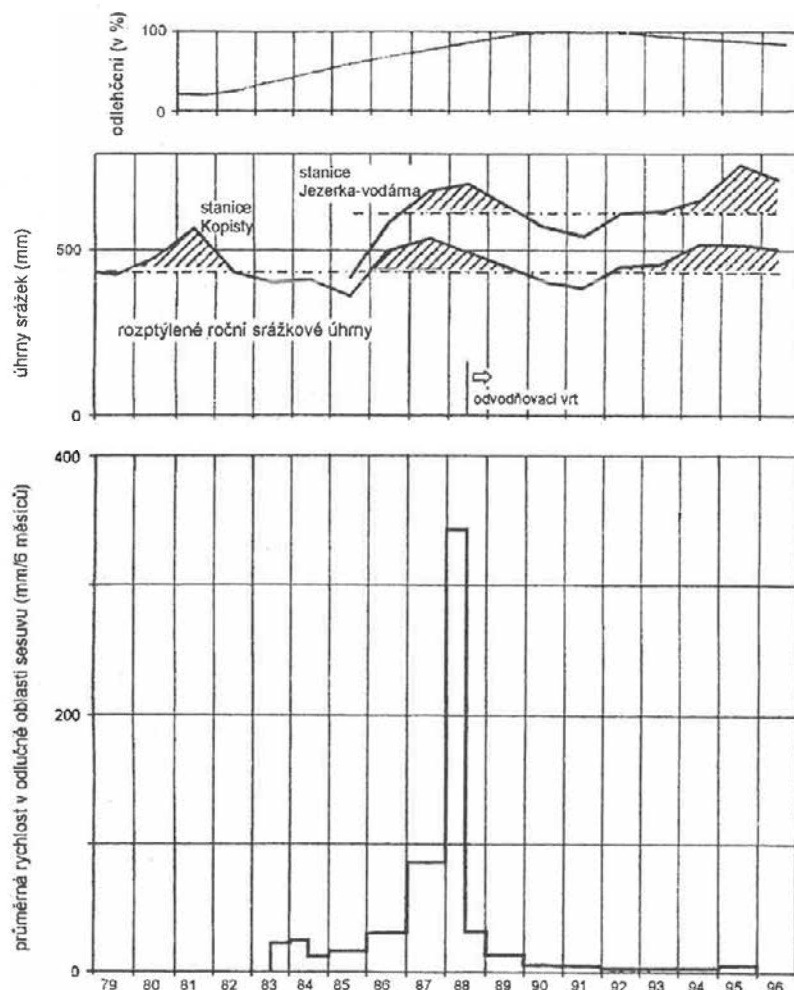


Obr. 9 Hodnocení vztahu mezi dešťovými srážkami a vzniku hlubokého sesuvu v bývalém hnědouhelném lomu Zwenkau u Lipska

Hluboké sesuvy v lomu Čs. armády

Obdobně jako v lomu Zwenkau u Lipska došlo v létě 1983 k projevu nestability bočního svahu hnědouhelného lomu Čs. armády. Systém kontrolního sledování zachytil metodou přesné inklinometrie ve vrtu JZ 59 počáteční stadium vývoje rozsáhlého a velmi hlubokého sesuvu v profilu pod vrchem Jezerka. Sesuvnými pohyby byly postiženy kvartérní sedimenty o mocnosti až kolem 60 m a o celkové kubatuře cca 7 mil. m³. V soulase s prognózou došlo k pohybu sutí a zřícených hmot podél kontaktu s miocénními nadložními jílovci. Vývoj sesuvu byl zaznamenán rok a půl po kulminaci vodní bilance z přelomu 1981/82. Úlohu spouštěcího faktoru zjevně sehrála dílčí kulminace srážkových úhrnů na jaře roku 1983, která se objevila u většiny sledovaných srážkoměrných stanic v Čechách (viz obr. 8), a i v okolním Německu.

V prvních letech sesouvání rychlost pohybů nepřesahovala 3 až 4 mm/měsíc a byla ovlivňována sezónními výkyvy klimatu (obr. 10). Nárůstem dlouhodobé srážkové bilance v období 1986 - 1989 došlo k výraznému zrychlení pohybů. V první polovině roku 1988 dosahovaly pohyby rychlosti až přes 50 mm/měsíc, ačkoli byla již v provozu zvláštní odvodňovací šachta. Byla ohrožena také funkce výzkumné štoly pod vrchem Jezerka. V červnu 1988 byl uveden do provozu nový čerpací vrt KU 378, kterým se podařilo úspěšně odvodnit sesouváním postižené kvartérní sedimenty. Do poloviny roku 1989 se rychlosti pohybů výrazně zmírnily a ustálily se na rychlostech nepřesahujících cca 1 mm/měsíc. V roce 1996 bylo sledování sesuvu ukončeno /9/.



Obr. 10 Rozbor vztahu aktivity sesuvných pohybů v hnědouhelném lomu Čs. armády v oblasti pod vrchem Jezerka, vlivu přiblížení těžby, vlivu odvodňovacích prací a srážkovou činností.

Rozsáhlým sesuvem v počátečním stádiu byly v roce 2005 postiženy skrývkové svahy lomu ČSA JV od zámku Jezerí. Již v zimě 2004/2005 se začaly projevovat drobné pohyby. Dne 19. června 2005 došlo náhle k výraznému zrychlení po větších asi třídních dešťových srážkách. Svislé i vodorovné posuny se během několika dnů opět uklidnily. K aktivaci pohybů došlo překvapivě v období dlouholetého deficitu srážkových úhrnů; přesto se krátkodobé srážky uplatnily jako spouštěvý faktor, neboť svah vytvářený lomovou činností byl z dlouhodobého stabilitního hlediska příliš strmý.

Závěry

Nedílnou součástí inženýrskogeologického studia svahových pohybů je prognóza dalšího vývoje stabilitních poměrů postižených svahů. Je rozlišována

prognóza prostorová, prognóza rozměrů a mechanismu porušení a prognóza časová. Pro přirozené svahy je nejsnadnější prognóza prostorová. Lze využít zkušenosti, že k oživení svahových pohybů na přirozených svazích dochází přednostně tam, kde již v minulosti k pohybům došlo. V České republice jsou z větší části údaje o dosavadních svahových deformacích uloženy v Registru sesuvů ČGS-Geofondu.

Nesrovnatelně obtížnější je prognóza časová: kdy dojde ke katastrofickému porušení svahu? Vzhledem k tomu, že klimatogenní faktory mají rozhodující podíl na vyvolání deformací přirozených, ale zčásti i antropogenních svahů, má pro dlouhodobou časovou prognózu výskytu svahových pohybů zásadní význam prognóza cyklických změn klimatu. To je problém, který není zatím přijatelně vyřešen. Částečným přínosem je úspěšná prognóza cyklických změn klimatu na západním pobřeží amerických kontinentů, spojených s jevem El Nino, který se opakuje po 2 až 8 letech. Zatím nebylo prokázáno do jaké míry se jev El Nino uplatňuje na průběhu klimatu v Evropě. Špůrek /10/, který shromáždil cca 2900 údajů o časovém výskytu sesuvných jevů v Evropě za období let 387–1970, se pokusil o dlouhodobou prognózu kolísání výskytu sesuvných jevů v závislosti na cyklických kosmických vlivech. Jeho závěry se nepotvrdily.

Časová prognóza má největší naději na úspěch tam, kde jsou k dispozici údaje o systematickém kontrolním sledování ohroženého svahu. Příkladem úspěšné časové prognózy je předpověď zřícení skalního svahu nad silnicí z Děčína do Hřenska z ledna 1984. Na základě detailního monitoringu chování ohrožené skalní stěny se podařilo s chybou jediného dne předpovědět zřícení stěny a zavalení hlavní silnice.

V případě hospodářsky nejzávažnějších problémů se inženýrskogeologické metody prognózy neobejdou bez úzké spolupráce s mnoha dalšími příbuznými obory. Příkladem je ohrožení stability svahů Krušných hor vlivem velkolomové těžby v hnědouhelném lomu Čs. armády. Na základě inženýrskogeologické prognózy mechanismu a rozměrů porušení svahů v kritických řezech Jezerka a Jezeří byl navržen systém kontrolního sledování, doplněný o kritéria varovných svahů /9/. Výsledky prognózy byly s cílem předejít katastrofickému porušení přilehlých svahů Krušných hor průběžně porovnávány s údaji z kontrolního sledování a podle závěrů byly upravovány postupy těžby ve velkolomu. Plnohodnotný systém kontrolního sledování vysokých svahů antropogenního původu, doplněný varovnými kritérii, by měl být nedílnou součástí jejich výstavby.

Příspěvek vznikl za podpory projektů Grantové agentury ČR reg. č. 205/05/2188, 205/03/0335 a za podpory výzkumného záměru A VOZ30460519.

Literatura

1. Gaertner, G., Pohl, W., Lindner, H.: Monitoring and modelling of post failure behaviour of a large overbunden slide in the lignite mine of Zwenkau (Saxony, Germany). In Landslides in research, theory and practice, Thomas Telford, 603-608, London, 2000
2. Nemčok, A., Pašek, J., Rybář, J.: Dělení svahových pohybů. Sbor. geol. Věd, Ř. HIG, 11, 77-97, Praha, 1974
3. Novotný, J.: Analýza vlivu vody na stabilitu svahu v jílovitých horninách. Acta Montana IRSM AS CR, AB, 10(127), 51-90, Praha, 2002

4. Novotný, J., Rybář, J., Stemberk, J. : Increase of landslide activity on the Bohemian Massif, Czech Republic, in 1995. Landslide News, 10, 19-22, Kyoto, 1997
5. Rybář, J.: Vliv klimatu na vývoj sesuvů a jiných nebezpečných svahových deformací. Sb.předn. Geotechnické dny 1999, Inf. centrum ČKAIT, 36-45, Praha, 1999a.
6. Rybář, J.: Rozbor příčin zvýšeného výskytu svahových deformací v České republice v červenci 1997. Geotechnika, 2, 7-14, Praha, 1999b.
7. Rybář, J., Novotný, J.: Zvýšený výskyt sesuvů v České republice v zimním období 2002/2003. Geotechnika, 4, 25-27, Praha, 2003a
8. Rybář, J., Novotný, J.: Vliv zvodnění horninového prostředí na vývoj sesuvů a povodní. Sb. 31. konf. Zakládání staveb, 209-214, Brno, 2003b
9. Rybář, J., Valeš, J., Mrlina, J., Kudrna, Z.: Interpretace údajů o vlivu technogenní činnosti při úpatí Krušných hor na průběh endogenních a exogenních pochodů v okolním horninovém prostředí. Acta Montana IRSM AS CR, AB, 4 (106), 95-109, Praha, 1997
10. Špůrek, M.: Long-range prognosis of fluctuation of the sliding event frequency. Čas. Mineral. Geol. 27, 3, 261-267, Praha, 1982
11. Záruba, Q., Mencl, V.: Sesuvy a zabezpečování svahů. Academia, 224 str., Praha, 1969