

PRÍSPĚVEK K TERMINOLOGII A KLASIFIKACI SVAHOVÝCH POHYBŮ

(Věnováno prof. dr. Frant. Vitáskovi k 70. narozeninám.)

I. STAV TERMINOLOGIE SVAHOVÝCH POHYBŮ

Přesná vědecká terminologie, názvosloví, je samozřejmým požadavkem všech vědních oborů. Vědeckou terminologií se rozumí soustava vědeckých názvů, z nichž každý má svůj jednoznačný význam výstižně vyjadřující podstatu vědecky určeného předmětu, stavu nebo děje. Vědecká terminologie má sloužit tomu, aby všichni, kdož v určitém vědním oboru pracují, ať po stránce teoretické nebo praktické, dávali určitému vědeckému názvu stejnou významovou náplň. To velmi usnadňuje dorozumění a vzájemné porozumění při řešení vědeckých problémů. Zvláště pak při aplikaci vědních poznatků na provádění praktických úkolů je jasná a přesná terminologie velmi žádoucí, neboť na ní ve velké míře závisí úspěch spolupráce vědy s praxí.

Přes veliký rozmach vědy však jednoznačná, všemi příslušnými odborníky uznávaná a užívaná terminologie je téměř u všech vědních oborů, ne-li u všech, dosud ideálním požadavkem. Mnohé vědní obory se ovšem usilovně snaží o vypracování své terminologie. Velmi pěkný úspěch na tomto poli zaznamenala geomorfologie zásluhou prof. H. B a u l i g a, který v rámci Mezinárodní geografické unie za kritické spolupráce geomorfologů z různých zemí vypracoval a vydal francouzsko-anglicko-německý geomorfologický slovník (3). Tento obsáhlý slovník, obsahující definice a výklad jednotlivých geomorfologických pojmů, však není zaměřen k potřebám aplikace geomorfologie na řešení úkolů praxe.

Jeden z důležitých úseků geomorfologie, který má velký význam pro praxi, je studium tzv. svahových pohybů.

Profesor Karl T e r z a g h i, jeden z nejvýznamnějších vědeckých pracovníků v oboru mechaniky zemin, když r. 1929 hodnotil význam geomorfologie pro poznání svahových pohybů, napsal tato slova:

„Pomalé i náhlé pohyby půdy probíhají i na nedotčených, sobě samým ponechaných svazích. Geomorfologie spojená se jmény Albrechta a Walthera Pencka, Davise, Götzingera, Passarge, Sappera, Behrmanna a mnoha jiných přiznala pohybům půdy vedoucí úlohu mezi činiteli působícími při vzniku tvarů zemského povrchu. Pozorování geomorfologů prováděná na všech kontinentech skutečně ukázala, že pohyby půdy pracují téměř stále a všude k tomu, aby změnily topografii zemského povrchu...“

„Těmito výzkumnými pracemi se naše znalosti o morfologii pohybů půdy rozšířily v neúměrné míře a náš pohled do geomorfologického významu těchto činitelů se prohloubil. Jakmile se však pokusíme použítí výsledků těchto výzkumných prací pro technické účely, narážíme na podobné obtíže jako v oboru stavby tunelů nebo zakládání staveb: to jest na nedostatek přesnosti při fyzikálním určování pojmů. Přes to, že geomorfologie v posledních dvaceti letech ve stále vzrůstající míře přihlížela k vý-

sledkům bádání v oboru fyziky, nejsou ani dnes základní pojmy ještě tak přesně a jasně formulovány, aby odpovídaly požadavkům technika.“ Potud Terzaghi. r. 1929 (27).

Od té doby učinily geomorfologie, geologie a mechanika zemin další významné pokroky ve studiu svahových pohybů, při čemž mechanika zemin dosáhla značných úspěchů v otázce výpočtu a zajišťování stability svahů. K sjednocení terminologie a v důsledku toho k jednotné klasifikaci svahových pohybů však dosud nedošlo.

V této práci se předně chce pokusit vyložit, v čem podle mého názoru spočívají příčiny nejednotnosti v užívání odborných termínů a v třídění svahových pohybů, neboť poznání těchto příčin může pomoci nejednotnost terminologie odstranit. Za druhé chce posoudit, do jaké míry termíny užívané k označení jednotlivých druhů svahových pohybů vystihují jejich podstatu a specifičnost, za třetí se chce pokusit o klasifikaci svahových pohybů na základě jejich příznačných geomorfologických, geologických a mechanických znaků.

II. OTÁZKA STABILITY SVAHU

Při řešení prvního úkolu je podle mého názoru třeba vyjít z otázky stability svahů, která těsně souvisí se svahovými pohyby.

Svahové pohyby znamenají v podstatě rušivé, destrukční geomorfologické děje, které jsou složkami tzv. svahové modelace. Názvem svahová modelace se v geomorfologii označuje soubor modelačních pochodů, které dále utvářejí, formují svahy zemského povrchu, jež vznikly působením různých geologických nebo geomorfologických dějů (tektonicky, erosi vodních toků, abradí vln a jinými pochody). Svahové pohyby mají různou intenzitu, různě rychlý průběh a odlišné destrukční účinky. Technickou praxí zajímají především ty svahové pohyby, které porušují stabilitu svahů.

V označování destrukčních pohybů, porušujících stabilitu svahů, vědeckými názvy však v literatuře z oboru geologie, geomorfologie a mechaniky zemin neexistuje jednotné hledisko.

Nejčastěji se pochody porušující stabilitu svahů označují názvem *sesouvání* (nebo též *svážen*) půdy. Hmoty hornin, která se sesula, nebo se sesouvá, se jmenuje *sesun* nebo *sesuv* a území sesouváním postižené se nazývá *sesuvné* (nebo *svážené*) *území* (terén). Při tom se zpravidla termíny sesouvání nebo svážení vztahují na zjevné svahové pohyby, které na zemském povrchu způsobují podstatné změny (15).

Avšak zejména v poslední době byly podány klasifikace pohybů hornin, které význam pojmu sesouvání půdy rozšiřují i na geomorfologické jevy, jež se až dosud zpravidla za svážení půdy nepovažovaly.

K správnému rozhodnutí, které pohyby hornin třeba zařadit do kategorie jevů porušujících stabilitu svahů, třeba si nejprve ujasnit významový obsah termínu *stabilita svahů*. Je zajímavé, že ani v československé odborné literatuře, ani v těch cizích pracích, které mi byly dostupné, není nikde uvedena úplná definice pojmu *stabilita svahů*. Zřejmě proto, že se předpokládá, že význam tohoto pojmu je jednotně chápán a proto nepotřebuje výkladu.

Z pozorného studia statí věnovaných v odborné literatuře různým otázkám stability svahů plyne, že se stabilitou svahů rozumí ustálenost, stálost svahů o určité výšce a určitém sklonu. Stálost, stabilita svahů trvá tak dlouho, pokud není porušena rovnováha (29, 25, 34, 15, 4).

V literatuře z oboru mechaniky zemin se rovnováha ve vztahu k stabilitě svahů pojímá ve fyzikálním významu jako statická rovnováha, to je jako stav, kdy síly

působící na zemní těleso se navzájem ruší. V podstatě tu jde o poměr dvou sil, z nichž jedna uvádí zemní hmoty do pohybu, druhá pohybu brání. Pohyb hmot působící porušení stability svahu nastane ve všech případech, kdy je rovnováha porušena tak, že složka váhy hmoty hornin, působící ve směru možného pohybu překoná pevnost ve smyku (14, 4). Výpočet stability zemních svahů se v těchto případech proto zakládá na teorii odporu hornin (v geologickém smyslu) vůči usmyknutí (1, 14, 25).

Někteří autoři však považují za důsledek porušení rovnováhy svahů i pohyby velmi malých částic hmoty, dále pohyby velmi pomalé, sotva znatelné, jakož i drobné pohyby jednotlivých částí povrchových vrstev způsobené vlivem exogenních činitelů (mrazu, zmeny teploty aj.), kteří nejsou trvale účastní ve fyzikálních podmínkách rovnováhy svahu, tedy i pohyby, jimiž nevznikají zjevné a podstatné změny sklonu a výšky svahů.

V dalších výkladech budeme shodně s názvem běžným v praxi považovat za porušení stability svahů zjevné a podstatné změny sklonu a výšky svahů, změny takových rozměrů, že mohou porušovat objekty stojící buď přímo na svazích, nebo v dosahu změn, kterým svahy podléhají.

III. SVAHOVÉ POHYBY PORUŠUJÍCÍ STABILITU SVAHŮ

Podle geologických, geomorfologických, fyzikálních a mechanických poměrů se rozlišují především dvě hlavní skupiny případů porušení stability přirozených nebo umělých svahů:

A. Porušení svahu, při čemž dojde k usmyknutí v ukloněné dotykové ploše mezi jednotlivými přirozenými nebo umělými vrstvami, kdy dotyková plocha, po níž nastává posun a která se nazývá skluzná nebo svážná plocha, je rovná (přímá), takže v celém svém rozsahu má stejný sklon. Takovéto rovné skluzné plochy jsou předurčeny a) vrstevními plochami, b) plochami, jež sice nejsou vrstevními plochami v pravém smyslu slova, ale svou povahou se jim blíží (styčná plocha vrstvy zvětralín na nezvětralém nebo málo zvětralém podloží), c) puklinami, jimiž jsou horniny prostoupeny, d) tektonicky předurčenými plochami (např. plochami nasunutí) (15).

Podobné případy nastávají při budování násypů na svazích, např. násypů silničních nebo železničních.

B. Porušení svahu, kde pohyb hmot hornin nastává po jedné nebo několika skluzných plochách, které nejsou predisponovány úložnými poměry, nýbrž nově vzniknou v zemním tělese zlomem v oblasti maximálních smykových napětí (1, 26, 14). Skluzné plochy mají v řezu tvar blízký cykloidě. Při výpočtech lze bez podstatných chyb předpokládat, že mají válcový tvar, jenž se v příčném řezu jeví jako kružnice. Nazývají se rotační nebo válcové smykové plochy.

Skupina případů A.

V prvé skupině případů (obr. 1) je rovnováha sil na svahu vyjádřena rovnicí

$$G \cdot \sin \alpha = \mu \cdot G \cdot \cos \alpha, \quad (1)$$

V této rovnici G = váha hornin v nadloží dotykové plochy a b, α = úhel, který dotyková plocha svírá s vodorovnou rovinou, μ = součinitel tření na dotykové ploše.

Součinitel tření μ třeba do rovnice (1) dosadit podle geologické struktury daného případu v jedné ze dvou hodnot: buď tak, že vyjadřuje úhel vnitřního tření ρ , který vyplývá z vlastního tření ρ_0 a odporu struktury ρ_g ($\rho = \rho_0 + \rho_g$); nebo tak, že vy-

jádruje zdánlivý úhel vnitřního tření ρ_s , který se skládá z pravé soudržnosti K_e , zdánlivé soudržnosti K_s , z vlastního tření ρ_o a z odporu struktury ρ_g ($\rho_s = \rho_o + \rho_g + K_e + K_s$). (K označení úhlu vnitřního tření zde užívám symbolu ρ shodně s citovanou prací K. K e i l a. Častěji se však úhel vnitřního tření označuje symbolem φ .)

$G \cdot \sin \alpha$ jest síla T , která při porušení rovnováhy svahu způsobuje usmyknutí hornin v nadloží dotykové plochy.

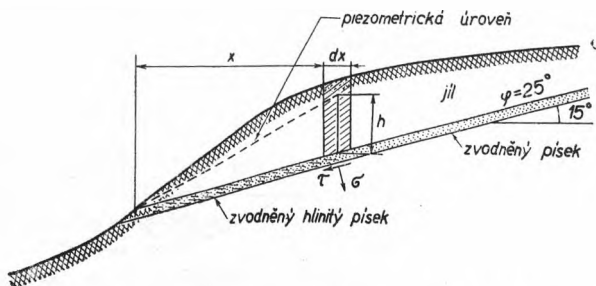
$\mu \cdot G \cdot \cos \alpha$ jest síla N , která usmyknutí brání a která působí ve směru kolmém na směr síly T . Síla N jest z podstatné části určena hodnotou μ (14).

Rovnice (1) vyjadřuje rovnováhu na svahu. Překoná-li síla T odpor síly N , nastane usmyknutí a pohyb hmot po dotykové ploše, která se stane skluznou plochou (14, 1).

Příčinou pohybů po vrstevních plochách v ukloněných vrstvách bývá někdy přítomnost vrstvy obsahující podzemní vodu s napjatou hladinou nebo soubory zvodněných vložek propustných hornin v nepropustných zeminách. Hydrostatický tlak podzemní vody s napjatou hladinou svým působením na nadloží zvodněné vrstvy zmenšuje odpor ve smyku na styku zvodněné vrstvy s nadložím. Podle K é z d i h o (16) nastane sesun tehdy, jestliže hodnota koeficientu K , vyjadřujícího poměr účinného normálního napětí a napětí ve smyku, je větší než úhel vnitřního tření: $K > \varphi$

$$\operatorname{tg} K = \frac{\int_0^x \tau dx}{\int_0^x \sigma dx},$$

kde τ = napětí ve smyku, $\sigma = \sigma - \mu =$ účinné normální napětí, σ = normální napětí působené vahou zeminy v nadloží zvodněné vrstvy, $\mu = h \cdot \gamma_w$, h = výška piezometrické úrovně, γ_w = specifická váha vody, dx = šířka pruhu zeminy nad zvodněnou vrstvou (obr. 2).



Obr. 2. Vliv vztlaku na sesouvání půdy. (Podle A. Kézdiho 1958.)

Případy svahových pohybů, které podle povahy svázné plochy patří do skupiny A, označuje F. P. S a v a r e n s k i j názvem *kousekventní sesuny* (23). V československé literatuře se pohyby po vrstevních plochách, puklinách a tektonických plochách souborně označují názvem *sjiždění po předurčených plochách* (34), pohyby po styčné ploše zvětralín s jejich podložím se nazývají *plošné sesuny*.

Skupina případů B.

Pohyby svahů po rotačních smykových plochách — skupina ad B — se vyskytují ve dvou druzích, které se liší průběhem smykových ploch vzhledem k patě svahu.

Jeden druh těchto pohybů se vyznačuje tím, že nejhlubší, hlavní rotační smyková plocha, po níž nastal hlavní pohyb končí, vybíhá na den v patě svahu. (Obr. 3, kde pro jednoduchost je zakreslena pouze jedna, najhlubší smyková plocha.)

Při otázce stability svahů patřících do tohoto druhu jde o poměr sil, které při porušení rovnováhy způsobují vznik smykových rotačních ploch a pohyb svahu, a sil pohybu bránících. Je to vzájemný vztah otáčivého momentu

$$G \cdot a$$

a momentu odporu

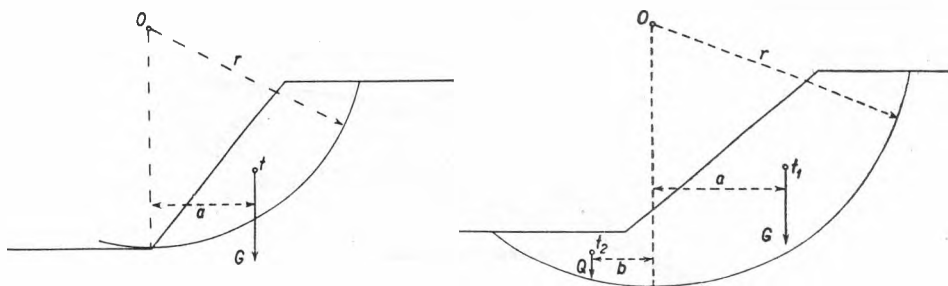
$$s \cdot F \cdot r,$$

kde G = váha hornin v nadloží rotační smykové plochy, která působí v těžišti t , a = rameno síly G , s = pevnost (odpor) ve smyku na jednotku smykové plochy, F = smyková plocha po 1 metru šířky jejího rozsahu, r = poloměr zakřivení smykové plochy (14).

Momentová rovnice vzhledem k bodu O pak jest

$$G \cdot a = s \cdot F \cdot r. \quad (2)$$

Druhý druh porušení svahů pohyby podél rotačních smykových ploch se vyznačuje tím, že nejhlubší smyková plocha (a popřípadě i některé smykové plochy nad ní) zasahuje do jisté hloubky pod patou svahu a končí, vybíhá na den v pláni před patou svahu, kde horniny pak bývají vytlačeny směrem vzhůru. K takovému průběhu rotačních smykových ploch dochází buď v zeminách s velmi malým úhlem vnitřního tření, nebo tehdy, jestliže zemina pod patou svahu je méně pevná než zemina nad úrovní paty svahu (34) (obr. 4).



Obr. 3. Podmínky rovnováhy svahu, když hlavní rotační smyková plocha vybíhá v patě svahu.
— Obr. 4. Podmínky rovnováhy svahu, když hlavní smyková plocha vybíhá v pláni před patou svahu.

Podmínky rovnováhy u tohoto druhu svahů jsou dány opět vztahem mezi protichůdně působícími silami. Jsou to jednak síly, které při porušení rovnováhy uvádějí hmoty svahu do pohybu a jednak síly, které pohybu brání.

Momentová rovnice k bodu O (obr. 4) jest

$$G \cdot a = Q \cdot b + s \cdot F \cdot r, \quad (3)$$

kde G = váha hornin v nadloží rotační smykové plochy působící v těžišti t_1 , a = rameno síly G , Q = váha hornin v nadloží smykové plochy působící v těžišti t_2 , b = rameno síly Q , s = pevnost ve smyku na jednotku smykové plochy, F = smyková plocha po 1 m šířky jejího rozsahu. r = poloměr kružnice, jejímž obloukem je smyková plocha.

V tomto případě k odporu proti sesouvání, vyjádřenému členem $s \cdot F \cdot r$, přistupuje ještě vliv zatížení nad smykovou plochou v pláni před patou svahu (vlevo od svislice vedené z bodu O), které působí momentem $Q \cdot b$.

Zvětšení hodnoty G , tj. zvýšení zatížení ve svahu, způsobí porušení stability. Teoreticky je nutno předpokládat, že porušení stability může nastat též v důsledku změny hodnoty třetího členu $s \cdot F \cdot r$, a to tím, že se zmenší soudržnost horniny, např. zvýšením její vlhkosti. Prakticky se takové případy však vyskytují jen výjimečně (34).

Svahové pohyby obou hlavních skupin (A a B) mají důležité společné znaky, a to:

1. Pohyb nastává v důsledku porušení statické rovnováhy.
2. Porušení statické rovnováhy způsobí vlivem překonání pevnosti ve smyku vznik jedné nebo jen několika málo smykových ploch, po nichž se hmota hornin pohybuje jako celek a při tom v pohybujiících se částech pravděpodobně nenastává porušení pevnosti ve všech jejich bodech (5, 25, 14).
3. Pohyb nastává zpravidla náhle. probíhá poměrně rychle a způsobuje značné porušení svahu, často katastrofálního rázu.
4. Ve směru pohybu se vždy uplatňují dvě složky, složka vertikální a složka horizontální, takže výsledkem pohybu je vždy jednak snížení, jednak bočné přemístění hmot hornin a zemin (14).

5. Průběh pohybu (deformace svahu) má periodickou povahu (28).

Svahové pohyby, tvořící tyto skupiny, se nejčastěji označují termínem sesouvání nebo svážení půdy. Bylo by podle mého názoru vhodné, aby názvy sesouvání (svážení) půdy byly jako synonyma vyhrazeny jen pro tyto skupiny svahových pohybů, a aby se jich neužívalo pro označení pohybů, jež uvedené znaky nemají.

Do skupiny sesunů (svážení) půdy by bylo třeba zařadit:

- a) plošné povrchové sesuny,
- b) sesuny podél rotačních smykových ploch,
- c) proudové sesuny,
- d) sesuny (sjíždění) po vrstevních plochách,
- e) sesuny (sjíždění) po puklinách,
- f) sesuny po tektonických plochách.

Příznačné geologické, geomorfologické a mechanické rysy těchto druhů sesunů velmi podrobně popsali zejména R. Kettner, V. Mencil a Q. Záruba (15, 34), a jejichž důkladné práce tu proto odkazují.

Považuji jen za potřebné dotknouti se ještě poněkud blíže otázky označení sesunů podél rotačních smykových ploch výstižným názvem. Zpravidla se totiž v československé literatuře uvádí, že sesuny podél rotačních smykových ploch vznikají ve stejnorodých soudržných zeminách, a proto se označují názvem „Sesuny v soudržných zeminách podél rotačních smykových ploch“. Avšak příklady sesunů podél rotačních smy-

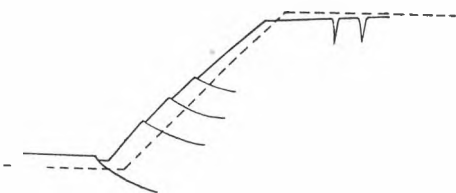
kových ploch, které uvádějí zejména V. Mencl a Q. Záruba (34) z údolí Volhy, z jižní Anglie, z ostrova Wight a z Nového Zélandu, ukazují, že tyto sesuny se vyskytují i v souvrstvích složených z nestejnorodých hornin, v nichž buď některé, nebo i všechny vrstvy mají povahu hornin v technickém smyslu, nikoliv povahu zemín. V Československu poskytl velmi poučný příklad tohoto druhu mohutný sesuv na západním Slovensku, o němž se též zmiňují O. Záruba a V. Mencl (34) a který jsem měl v r. 1951 sám příležitost podrobně studovat. Typický sesuv podél rotačních smykových ploch s nejhlubší smykovou plochou vycházející v pláni před patou svahu nastal ve svahu návrší, které je ve své svrchní části zbudováno z jurských vápenců vnitřního bradlového pásma, ve spodní části z křídlových červenohnědých púchovských slínovců a zelenošedých slínovců s vložkami pískovců. Rotační smykové plochy vznikly jak ve slínovcích, tak i ve vápencích spočívajících v tektonickém nadloží slínovců. Vznik smykových ploch byl zřejmě velmi podstatně umožněn tím, že slínovce jsou jednak málo odolné, jednak že jsou rozpukány velmi hustou sítí tektonicky podmíněných puklin.

Také F. P. Savarenskij ve své klasifikaci přihlížel k rozdílu mezi sesuny podél rotačních smykových ploch, které vznikají v homogenních nevrstevnatých zeminách, a sesuny podél rotačních smykových ploch, které vznikají v nestejnorodých vrstvených útvarech. První označil názvem asekventní sesuny, druhé názvem insekventní sesuny (23).

Poněvadž se tedy sesuny podél rotačních smykových ploch nevyskytují jen v soudržných zeminách (hlinách, jílech, slínech apod.), nýbrž za určitých podmínek i v horninách v technickém smyslu, domnívám se, že bude vhodné označovat tento druh svahových pohybů prostě názvem „sesuny podél rotačních smykových ploch“.

Dále bych chtěl zdůraznit, že odlučná oblast typických proudových sesunů je vždy tvořena sesuny podél rotačních smykových ploch.

V souvislosti s porušováním svahů, jež je působeno vznikem smykových ploch zlomem, třeba uvést zjev, na který po prvé upozornil V. Mencl (25). V hlubokých zářezech v jílovitých zeminách vznikají ve spodní části svahu smykové plochy, podél nichž zemní hmota pod smykovou plochou předstupuje poněkud, asi 1 cm, před hmotu nad smykovou plochou (obr. 5). V povrchových nestlačených jílovitých vrstvách,



Obr. 5. Deformace svahu zářezu v jílovitých zeminách. (Podle V. Mencla 1955.)

kteří jsou unášeny spodními vrstvami, vzniknou v důsledku toho tahové trhliny. Svah se tímto pochody deformuje, a to tak, že v horní části zářezu se terén poněkud sníží a v dolní části se svah konvexně prohne do zářezu, jak ukazuje obr. 5. Podle názoru V. Mencla tyto deformace neznamenají počínající sesuv svahu. V dalším vývoji však mohou vést k porušení stability a k sesutí svahu, a to tímto pochodem: V letním suchém období se trhlinky otvírají a zároveň se trhá zemní hmota kolem nich. Když pak nastane deštivé období, voda vniká hluboko do svahu,

zemní hmota rozbíhá, smykové plochy u paty svahu se spojují s tahovými trhlinami v terénu při boční části svahu v souvislé sesuvné plochy a svah se sesouvá (25). Pravděpodobně tu pak dochází k sesunům podél rotačních smykových ploch.

Stabilitu svahů výrazně porušují další svahové pohyby, které se v československé literatuře dělí na dva druhy a označují se názvy *kerné sesuny* a *plastické vytlačování měkkých vrstev na dně údolí a zářezů*. Jde o pohyby tak velmi příbuzné příčinou i geomorfologickými následky, že by snad ani nebylo třeba je rozlišovati jako dva samostatné druhy svahových pohybů.

Takzvané plastické vytlačování měkkých vrstev na dně údolí i tzv. kerné sesuny vznikají tím, když nadložní horniny působí svou vahou na měkké plastické vrstvy ve svém podloží. Například když se mocné vrstvy rozpukaných vápenců, kryté spraší, zabořují do podložních měkkých slínů, jak tomu je na pobřeží Černého moře u Oděsy (34). Jednotlivé kry nadložních hornin, oddělené trhlinami, postupně klesají a zabořují se do měkkého podloží, které je vytlačováno stranou. Při tom spodní části nadložních ker zpravidla ujedou ve směru pohybu vytlačovaného měkkého podloží a následkem toho se svrchní plocha ker ukloní proti svahu. Nadložní vrstvy se buď rozvolňují podél již existujících trhlin a puklin, nebo se roztrhávají působením napětí v tahu. Plastické vytlačování měkkého podloží i poklesy nadložních vrstev probíhají velmi pomalu. Pohyb trvá tak dlouho, dokud vytlačené podloží nevytvoří před svahem dostatečnou protiváhu.

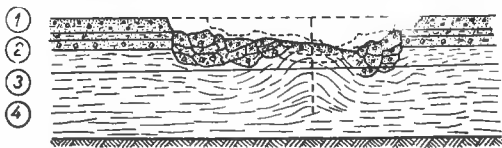
Tyto geomorfologické pochody i tvary jimi vznikající jsou u tzv. plastického vytlačování měkkých vrstev i u tzv. kerných sesunů v podstatě stejné. Rozdíl spočívá pouze v tom, že tzv. kerné sesuny se vyskytují na okrajích velkých geomorfologických celků, u nás např. na okraji české křídové tabule na Turnovsku (34), kdežto tzv. plastické vytlačování měkkých vrstev se děje v údolích a v umělých zářezech.

Velmi názorný příklad tzv. kerného sesunu uvádějí Q. Z á r u b a a V. M e n c l z motolského údolí v Praze. Jde tam sice o zjev fossilní, dnes již ustálený, který však má všechny příznačné znaky tohoto druhu svahových pohybů (34).

Poučný příklad plastického vytlačování měkkých hornin v zářezu uvedl K. T e r z a g h i (27) z Rapperswyl ve Švýcarsku (obr. 6). Tento případ ukazuje, že vytlačování podložních měkkých plastických zemín nemusí být způsobeno jen vahou pevných hornin (v technickém smyslu — vápenců, pískovců apod.), nýbrž že stejně mohou působit i nadložní vrstvy zemín (hlin, šterkopísků aj.).

Také po stránce mechaniky zemín jde u tzv. kerných sesunů i u tzv. plastického vytlačování měkkých vrstev o zcela stejný děj, který podle V. M e n c l a vlastně znamená problém únosnosti hornin pod zatížením. Proto otázku stability svahů, na nichž se tyto svahové pohyby vyskytují, třeba řešit tak, jako by šlo o únosnost základové půdy (25).

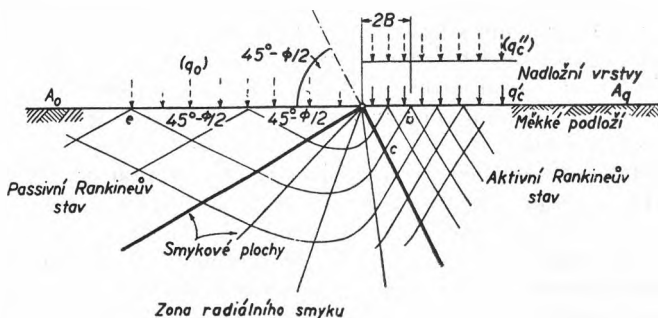
S hlediska mechaniky zemín třeba plastické vytlačování měkkých vrstev vysvětlovat tak, že vlivem zatížení nadložními vrstvami se v podložních měkkých vrstvách vytvoří tzv. plastické oblasti. Podstatu plastických oblastí vysvětlují jednotliví odborníci v mechanice zemín různým způsobem podle toho, z jakých teoretických předpokladů vycházejí. Podle L. B e n d e l a v plastických oblastech nastává tzv. tečení (též zvané plastické tečení (29, 1)), které znamená překonání stavu rovnováhy ve všech bodech zemního tělesa současně. Přemístování částic zemní hmoty při tečení má podle Bendela velmi složitou povahu (5).



Obr. 6. Profil zářezu v Rapperswyl ve Švýcarsku. (Podle K. Terzaghiho 1929.) 1. Písek a šterk. 2. Žlutá písčitá hlína. 3. Modrá pevná hlína. 4. Modrý měkký jíl.

Podle Terzaghiho plastické tečení znamená trvalou deformaci při konstantním napětí, kdy zemní těleso je porušeno ve všech bodech a je proto prostoupeno hustým souborem smykových ploch, které tvoří dvě soustavy, jež se navzájem kříží (29). Také podle V. Mencla a A. Mysliwce v plastických oblastech je ve všech bodech zemního tělesa dostoupen stav porušení, takže vzniká množství smykových ploch, které tvoří dva systémy, jež se navzájem kříží. Po těchto smykových plochách se namáhaná zemina vytlačuje ven a těleso, jež zeminu zatěžuje (nadložní vrstvy, základ apod.), do vytlačované vrstvy se zabořuje (25, 26).

Velmi přibližně, za velice zjednodušujících předpokladů si můžeme smykové plochy při plastickém tečení schematicky představit podle K. Terzaghiho tak, jak ukazuje obr. 7. Ve skutečnosti ovšem, vlivem fyzikálních vlastností zemin, jež při teoretic-



Obr. 7. Plastické tečení způsobené přetížením břemenem, které rovnoměrně pokrývá polovinu celé plochy. Schema na základě velmi zjednodušených předpokladů. (Podle K. Terzaghiho 1946.)

kém řešení musely být zanedbány, je tvar smykových ploch v oboru aktivního Rankineova stavu a v zóně radiálního smyku poněkud odlišný. Tak např. v zóně radiálního smyku radiální smykové čáry nejsou přímé, nýbrž jsou zakřivené (29).

Takzvané kerné sesuny a tzv. plastické vytlačování měkkých vrstev se tedy od pohybů, pro které výhradně navrhuji označení *sesuny půdy*, velmi liší jak mechanickou povahou pohybu, tak i jeho rychlostí.

Q. Záruba a V. Mencl popisují rozdíl mezi sesouváním a plastickým vytlačováním měkkých hornin takto:

„Rozdíl mezi sesouváním a vytlačováním spočívá v tom, že sesouvání je zjev probíhající poměrně v krátkém čase, jsou-li porušeny podmínky rovnováhy zemin, naproti tomu vytlačování je zjev pomalý, trvající dlouhou dobu. Sesouvání je pohyb hmot s jasně patrnými hranicemi, kdežto při plastickém vytlačování vrstev zpravidla nejsou zřetelné hranice mezi hmotou, která je v pohybu, a sousední hmotou, která je v klidu“ (34).

Další odlišnost od sesunů půdy spočívá v tom, že u tzv. kerných sesunů i u tzv. plastického vytlačování měkkých vrstev se hmoty hornin, jež jsou v pohybu, skládají ze dvou geologicky výrazně rozdílných celků, z nichž každý podléhá jinému druhu porušení a pohybuje se jiným způsobem. U nadložních vrstev, které svou váhou uvedly celý děj v chod, nenastává porušení ve všech jejich bodech, nýbrž tyto vrstvy se podél poměrně malého počtu trhlin nebo puklin rozdělují v ucelené kry, při jejichž zabořování převládá vertikální složka pohybu nad horizontální složkou. Naproti tomu v podložních vytlačovaných vrstvách je zemní hmota porušena ve všech bodech a její výsledný pohyb se děje převážně horizontálním směrem.

Také K. Terzaghi nepovažuje porušování svahů vlivem plastického vytlačování měkkých vrstev za sesuny; lze tak soudit z toho, že při popisu jednoho jejich případu píše: Bei den sogenannten „Rutschungen“ von Raperswyl in der Schweiz... (27).

Rovněž Zd. Bažant ml. nepoužívá k označení těchto pohybů termínu „sesuv“, nýbrž označuje je názvem „zapadání svahů do měkkého podloží“ (4).

Takzvané plastické vytlačování měkkých vrstev i tzv. kerné sesuny znamenají ovšem porušení stability svahů, tj. změnu jejich sklonových a výškových poměrů.

Navrhuji pro oba tyto druhy svahových pohybů souborný název „klesání svahů vlivem vytlačování měkkého podloží“.

*

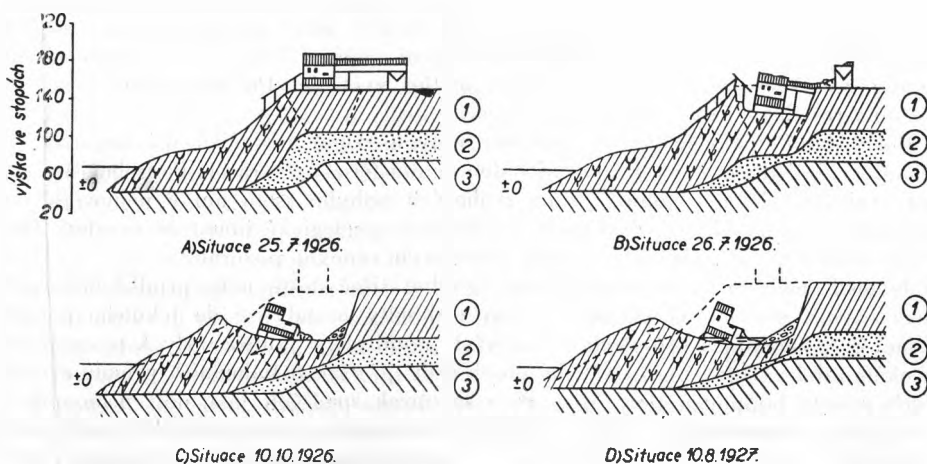
Dostí vzácný, ale někdy katastrofálně se projevující druh porušení stability svahů vzniká tehdy, když se v podloží nepropustných vrstev svahu vyskytuje zvodněná písčité vrstva. Umožní-li se nějakým způsobem, např. zářezem, aby voda ze zvodněné vrstvy vytékala, strhuje vytékající voda s sebou písek, který tak nabývá povahy tzv. tekoucího písku. Pohyb písku začíná zvětšením jeho pórovitosti. Ztekucení písku takto způsobené postupuje vzhůru proti proudu vytékající vody. Ztekucením se nejprve zmenší únosnost písku a nadložní vrstvy začnou sesdat. Po částečném nebo úplném vyplavení písku se nadložní proboří, jak ukazuje obr. 8.

Zborcení svahu znázorněného na obrázku bylo podle K. Terzaghiho způsobeno tím, že řeka Mississippi bočnou erosi nařízla vrstvu zvodněného písku, jehož voda měla napjatou hladinu. Před naříznutím byla písčité vrstva kryta na svahu břehu mocnou vrstvou jilu, která asi byla částí starého sesunu a bránila vodě v odtoku z písčité vrstvy. Místo, kde řeka písčitou vrstvu nařízla, bylo vzdáleno od porušeného prostoru asi 100 m směrem po proudu řeky.

Jiné případy porušení svahů vlivem tekoucích písků uvádějí Q. Záruba a V. Menci (34).

Tento způsob porušení stability svahů bych nazval *proboření svahů*. Použit pro označení tohoto druhu svahových pohybů názvu „tekoucí písky“ nepovažuji za vhodné, poněvadž tekoucí písky se vyskytují i v jiných formách a způsobují i jiné druhy porušení zemského povrchu, ne pouze porušení svahů.

*



Obr. 8. Proboření svahu v Memphis, Tennessee (U. S. A.) (Podle K. Terzaghiho 1929.)

Dalším druhem pohybů porušujících stabilitu svahů je tzv. *skalní řícení*. Jsou to náhlé říťivé pohyby uvolněných částí strmých skalních srázů (údolních úbočí, pobřežních svahů, zlomových svahů aj.). Říťící se hmoty mají různé rozměry, od menších bloků až po zřícení celých stěn, jejichž objem často měří i několik tisíc krychlových metrů. Pohyb je čistě výsledkem působením tíže a vyznačuje se tím, že při něm převládá volný pád a že se neděje po nějaké výrazné smykové ploše. Řícení je připraveno rozvolněním hmoty hornin, při němž důležitou úlohu mají exogenní činitelé, jako kolísání teploty vzduchu, namrzání vody v puklinách, hydrostatický tlak vody v puklinách, tlak kořenů aj. Jde tu tedy především o působení vnějších činitelů, kteří připravují podmínky pro plné uplatnění tíže jako poslední příčiny říťivého pohybu.

Z těchto důvodů tvoří skalní řícení samostatnou skupinu svahových pohybů výrazně porušujících stabilitu svahů.

Terminologické upřesnění potřebuje též výraz *soliflukce* neboli *pūdotok*, tekoucí půda. V jeho užívání není jednotnost. Většinou se soliflukcí rozumí pohyb rozmrzlých a rozbředlých povrchových vrstev zemin po dočasně nebo trvale zmrzlé půdě v periglaciálních, subarktických a vysokohorských oblastech, v nichž průměrná roční teplota vzduchu je nižší než 0°C (10). Někteří autoři však termínem soliflukce označují i pohyb silně rozbředlých jílovitých hmot na nezmrzlém, avšak nepropustném jílovém podkladě, který se za vhodných podmínek vyskytuje ve všech zeměpisných šířkách (3), pohyb, pro nějž zase jiní autoři používají názvu „pūdotok“ ve svém mateřském jazyce (např. američtí autoři užívají názvu *earthflow*), ponechávající mezinárodní termín soliflukce (solifluction) pro označení pohybu rozbředlých hmot po zmrzlé půdě (21, 31).

Oba tyto svahové pohyby mají společnou jen jednu stránku, čistě vnějšího rázu, tj. tekutý pohyb rozbředlých zemin, který se děje podle zákonů hydrodynamiky po ploše, jež není plochou smykovou. Liší se však podstatně jednak pokud jde o povahu plochy, po níž se tekutý pohyb děje, jednak pokud jde o způsob, jímž zeminý rozbředá.

Rozbřednutí zemin nad dočasně nebo trvale zmrzlou půdou nastává v tzv. účinné (nebo pracující) vrstvě (1, 22), tj. ve vrstvě, která v zimě zamrzá a v létě rozmrzá. Při přeměně vody v led se v důsledku zvětšení objemu ledu o 9% zemina účinné vrstvy rozrušuje, trhá a její pórovitost se tím zvětšuje. Při rozmrznutí se přesyťtí vodou z rozláhlého ledu a stává se tekutou.

Rozbřednutí zemin nad nepropustnou vrstvou, které nevzniká při rozmrzání, je teoreticky důsledkem jejich přesycení vodou z atmosférických srážek. Podrobnější popisy ani konkrétní příklady tohoto druhu svahových pohybů jsem ani v nejnovější mně dostupné geomorfologické, geologické a inženýrsko-geologické literatuře nenalezl. Bude proto třeba tomuto jevu při terénních výzkumech věnovat pozornost.

Je podle mého názoru otázkou, zdali i velmi silné deště nebo prudké tání sněhu stačí napojit zeminu na svahu tak, aby rozbředly a daly se do tekutého pohybu. Víme, že v bahenních proudech a ssuťových proudech je poměr vody k pevným součástkám asi 1 : 1 (34). Tento vysoký obsah vody je však u bahenních proudů a ssuťových proudů podmíněn tím, že se voda ze srážek spadlých jako déšť nebo sníh na větší ploše soustřeďuje v eročních rýhách. Na svazích však podmínky pro takovou koncentraci srážkové vody nejsou dány. V našich zemích přívalové deště nebo tavné vody způsobují na svazích zpravidla stružkovou erosi půdy.

Další otázkou je, zdali někteří autoři nezaměňují pohyb v důsledku rozbřednutí zemín nad nepropustnou vrstvou s plošnými sesunými. Lze tak např. soudit podle výkladů v Thornburyho učebnici geomorfologie (31). Ch. R. Longwell a R. F. Flint označují názvem „earthflow“ dva velmi rozdílné jevy. Velmi nejasný názor o soliflukci i jiných svahových pohybech má kupodivu A. K. Lobeck ve své jinak velmi instruktivní učebnici geomorfologie. Proto jeho výklady a zobrazení těchto jevů podané na různých, navzájem nepřilís vzdálených stránkách jeho knihy, se liší a někdy si i zcela odporují (srov. str. 82, 83, 92 a 93 šestého poválečného tisku I. vydání — (20).

Ukáže-li se, že skutečně existuje tok zemín nad nepropustným podložím jako samostatný druh svahových pohybů, pak by bylo nutno jej označit jiným jménem než tok půdy vznikající vlivem rozmrznutí, pro nějž by pak byl vhodný název kongeliflukce, který navrhuje Jan Dylík (9). Avšak zatím bude vhodnější ponechat termín soliflukce v jeho původním a dnes nejužívanějším významu označujícím pohyb zemín vyvolaný rozbřednutím účinné vrstvy.

IV. SVAHOVÉ POHYBY NEPORUŠUJÍCÍ STABILITU SVAHŮ

Svahové pohyby, které jsme probrali v předešlé kapitole, znamenají přesuny více méně souvislých hmot hornin a zemín zpravidla značných kubatur, takže jimi vznikají na svazích podstatné tvarové změny, které často porušují lidská díla. S výjimkou soliflukce (ve smyslu kongeliflukce) se tyto svahové pohyby vyskytují na svazích o značném sklonu, jejichž rovnováha byla nějakým způsobem porušena, tedy na svazích, které — pokud byly vytvořeny přírodními pochody — jsou v mladších stádiích svého geomorfologického vývoje. U soliflukce je pohyb způsoben změnou konsistence zeminy a nastává proto i na velmi mírných svazích, ukloněných jen 3° až 7° (9).

Poněvadž však v oblastech, kde soliflukce (kongeliflukce) je častým druhem svahové modelace, je mocnost účinné vrstvy zpravidla značná, způsobuje soliflukce zjevně a podstatné změny ve tvaru svahů, a proto třeba i ji řaditi k pochodům porušujícím stabilitu svahů.

V krajinách, kde nejsou klimatické podmínky vhodné pro soliflukci, obecně platí, že s pokračujícím zmírňováním sklonu svahů následkem postupujícího geomorfologického vývoje území neboli, podle K. Terzaghiho, s přibývajícím zralostí území (27), se svahové pohyby porušující stabilitu svahů stávají stále méně častými a méně účinnými, až konečně ustávají. Další svahová modelace se potom děje pouze vlivem pomalých, nezatelných pohybů drobných částic zvětřalin, které sice postupem dlouhých dob snižují sklonové a výškové poměry území, ale při tom neporušují stabilitu svahů ve smyslu definice stability svahů, kterou jsme uvedli.

Ustávání svahových pohybů, porušujících stabilitu svahů, se zmenšováním sklonu území plyne též z rovnice vyjadřující vztahy sil na svazích.

Pokud jde o vztah vyjádřený rovnicí (1), pak se zmenšujícím se úhlem sklonu svahu α se zmenšuje hodnota $\sinu \alpha$ a vzrůstá hodnota $\cosinu \alpha$, takže síly bránící pohybu nabývají převahy nad silami, které pohyb způsobují.

Pokud jde o rovnici (2), zjistil jsem měřením v konkrétních případech, že platí-li tato rovnice při určitém úhlu sklonu svahu α_0 , pak při úhlu α menším (větším) než α_0 jest levá strana této rovnice menší (větší) než pravá, takže platí $G \cdot a < s \cdot F \cdot r$ ($G \cdot a > s \cdot F \cdot r$). Jinými slovy, pro $\alpha < \alpha_0$ je svah stabilní, při $\alpha = \alpha_0$ je labilní a při $\alpha > \alpha_0$ nastane (dříve nebo později) sesun.

V případech, k nimž se vztahuje rovnice (3), se rovněž, jak jsem zjistil měřením, se

snižováním sklonu svahu zmenšuje hodnota G a vzrůstá hodnota F a r . Zároveň se zmenšuje i hodnota Q a b a roste hodnota a , avšak tyto změny se dějí jen v takovém počtu, že i v těchto případech se snižováním sklonu svahu síly bránící sesouvání vzrůstají a síly působící sesouvání se oslabují.

Když K. T e r z a g h i pojednával o závislosti výskytu svahových pohybů na stadiu geomorfologického vývoje krajiny, uvedl, že pomalé, sotva znatelné až nezjevné pohyby částic mají na rozdíl od pohybů, jež jsem zařadil do kategorie pohybů porušujících stabilitu svahů, obecné rozšíření. Pohyby porušující stabilitu svahů současně označil jako spontánní a místní jevy (27). Tím dobře vystihl jedny ze základních dynamických a geografických rozdílů mezi oběma druhy pohybů na svazích.

Pro své obecné rozšíření jsou to ve velké míře pomalé svahové pohyby, které způsobují konečnou redukcii reliefu až do stavu paroviny.

U spontánních, samovolných pohybů je pohyb hmot důsledkem porušení statické rovnováhy uvnitř horninového tělesa svahu. Naproti tomu u pomalých pohybů je změna místa způsobena vnějšími vlivy, které většinou mají povahu impulsů ve fyzikálním smyslu. Také to není pohyb souvislých, soudržných vrstev, nýbrž jen jejich částic (úlomků, kamenů, zrn písku a pod.). Vnější vlivy a síly, které pomalý pohyb způsobují, jsou objemové změny vlivem střídání oteplování a ochlazování půdy, nadzdvížení a nakypření povrchových poloh při promrzání půdy, tlak působící na součástky půdy při zmrznutí vody v led, objemové změny při hohbnání a vysychání, tlak kořenů aj. Drobné pohyby těmito pochody způsobené se dějí buď přímo na povrchu, nebo sahají jen do poměrně malé hloubky pod povrch, do níž pronikají roční změny teploty a vlhkosti. Délka pohybu částic směrem po svahu je zpravidla velmi malá, číi třeba jen několik milimetrů za rok (34). Jde tu tedy vlastně o celý soubor drobných pohybů různého druhu, jejichž společným výsledkem je přemístění částic zvětralin po svahu dolů. Tento soubor drobných pomalých pohybů částic zvětralin se označuje v odborné literatuře různými názvy: plíživý pohyb ssuti, popolézání, slézání ssuti (15, 34, 22). V dalším budu užívatí názvu *plíživý pohyb zvětralin* jako označení pro *celý soubor* drobných pohybů zvětralin na svazích.

Některí autoři čítají k plíživému pohybu zvětralin i pohyby způsobené činností ronů. Avšak činnost ronů, zejména jeho nejčastější formy, tj. ronů soustředěného ve stružky navzájem se spojující na způsob miniaturní říční sítě, řídí se přesně týmiž hydrodynamickými zákony jako činnost stálých vodních toků. Proto i doprava materiálu ronem unášeného podléhá těmto hydrodynamickým zákonům. I když tok ronů je jen občasný, vázaný na prudké deště a rychlé tání sněhu, přece jen rychlost, s jakou unáší částice hornin, a dráha, kterou tyto částice během omezeného trvání ronů urazí, jsou mnohem větší než při pohybech způsobených vlivy, jež se zpravidla považují za příčiny plíživého pohybu zvětralin. Proto podle mého názoru nelze ron zařadit mezi tyto příčiny. Ovšem tam, kde jsou pro jeho vznik podmínky, spolupůsobí s plíživým pohybem zvětralin nebo s jinými pochody jako jedna ze součástí svahové modelace.

Ron ve všech svých formách se vyskytuje a je nejúčinnější hlavně na svazích o větším sklonu a na nepropustných horninách, kdežto na mírnějších svazích geomorfologicky značně vyvinutých a pokrytých mocnější vrstvou zvětralin a hustou vegetací je jeho význam poměrně malý (24).

V geomorfologii se sklon svahu, na němž existuje převážně plíživý pohyb zvětralin, někdy označuje jako profil rovnováhy svahu. Tak jako profil rovnováhy vodních toků se i profil rovnováhy svahů za nerušeného geomorfologického vývoje v dlouhých geologických obdobích snižuje, jeho sklon se značně zmírňuje, ale nenastávají na něm žádné zřetelné a náhlé poruchy plynulého spádu. Je výrazem rovnoměrnosti mezi

vznikem zvětralin, jejich pohybem a odklizen (24, 18, 2), ale jeho vývoj se ovšem neřídí týmiž hydrodynamickými zákony jako vývoj profilu rovnováhy vodních toků. Tvarově se vyznačuje křivkou, která je pravidelně zakřivena tak, že v horní části je konvexní, v dolní konkávní.

S praktického, technického hlediska lze takového vyrovnané konvexně-konkávní svahy, na nichž existuje převážně plíživý pohyb zvětralin, považovat za stabilní, to znamená, že na nich není nutno počítat s nebezpečím poruch na stavbách apod. Tomu nasvědčují jednak teoretické úvahy, jednak zkušenosti. Po stránce teoretické třeba uvážit předně skutečnost, že jde o velmi pomalý pohyb malých až drobných částic. Poněvadž jde tedy o částice o malé hmotě m a malé rychlosti v , je jejich kinetická energie malá.

Za druhé třeba uvážit to, že jednotliví činitelé uvádějící částice hornin do plíživého pohybu nepůsobí současně v celém svislém řezu vrstvy zvětralin, nýbrž pronikají do hloubky postupně (např. bobtnání a vysýchání, promrzání a rozmrzání), za třetí to, že ani v jedné a téže hloubce pod povrchem se nepohybují všechny částice zároveň, poněvadž činitelé způsobující plíživý pohyb nepůsobí na ně na všechny (např. křemenné částice nepodléhají bobtnání apod.) (27).

Výstižně o tom píše H. B a u l i g, že plíživý pohyb zvětralin není „masovým pohybem“, nýbrž pohybem jednotlivých částic, které individuálně podléhají silám zcela lokální povahy (2).

Zkušenost z oblastí různého geologického složení rovněž ukazuje, že plíživý pohyb zvětralin neporušuje stabilitu svahů a objektů na nich umístěných.

Tento názor však není obecně přijímán. Někteří autoři se domnívají, že i plíživý pohyb zvětralin může způsobit poruchy, často závažné, na různých objektech, dokonce i na takových, které mají značné rozměry a jsou dosti hluboko založeny. Jako důkazy uvádějí např. vyklonění plotů, naklonění a prohnutí kmenů stromů (2), porušení vodovodních a jiných potrubí (27) a dokonce i poškození mostů způsobené posunem mostních pilířů založených na svazích (12). Předpoklad o tak velikých účincích plíživého pohybu zvětralin vedl R. H a e f e l i h o k vypracování teorie tlaku způsobeného plížením zvětralin (Kriechedrucktheorie) (12), na niž v naší literatuře po prvé upozornili Q. Z á r u b a a V. M e n c l (34).

Pokud jde o první skupinu jevů uváděných jako doklady rušivých účinků plíživého pohybu zvětralin (ploty, stromy apod.), třeba upozorniti na to, že tyto jevy se nevyskytují na vyrovnaných svazích s konvexně-konkávním profilem, kde plíživý pohyb zvětralin je hlavní složkou svahové modelace. Na příkřejších svazích, které jsou v mladších stadiích geomorfologického vývoje, nacházíme dva způsoby výskytu kmenů stromů vychýlených ze své původní polohy. V jednom případě je uklonění kmenů spojeno s celkovým přemístěním, posunem stromu i s kořeny ve směru po svahu. V tomto případě je vychýlení stromů dokladem sesunu půdy, jak správně uvádějí např. R. K e t t n e r, Q. Z á r u b a a V. M e n c l (15, 34). Druhému způsobu vychýlení kmenů stromů nebyla dosud, pokud je mi známo, v literatuře věnována větší pozornost. Vyskytuje se na příkřejších svazích, které jsou pokryty poměrně slabou vrstvou zvětralin.

Velmi názorný příklad, který dobře umožňuje studium tohoto jevu, lze nalézt např. v Praze na severoseverozápadním svahu návrší Žižkova. Svah má velmi srázný sklon, který místy dosahuje 45 až 50°. Ve své horní části je tento svah tvořen skalečnými křemenci s vložkami břidlic $d\gamma_{2a}$. Ve své střední a dolní části, kde jsou vychýlené stromy nejčetnější, je svah složen z šáreckých břidlic $d\gamma_1$, jež jsou kryty slabou vrstvou zvětralin. Zvětralinový plášť, cca 20 cm mocný, se skládá jednak z ostrohranných

úlomků břidlic, velikostí od drobných tenkých střípků až po kameny nepravidelného tvaru, měřící až 25 cm v nejdělsí ose, jednak z hnědé jílovité hlíny, krátce plastické. Svah je porostlý poměrně mladým listnatým lesem a trávou. Četné stromy jsou vychýleny ze svislé polohy, jsou ukloněny po svahu dolů a slabší z nich se geotropicky ohýbají vzhůru. Souvislý kryt zvětralinového pláště a trávy je na četných místech porušen holými místy, na nichž vystupuje na den skalní podloží. Tato holá místa tvoří buď užší pruhy podobné jizvám, nebo rozlehlejší, několik čtv. metrů měřící plochy připomínající lysiny. Holá místa se zpravidla zřetelně zužují směrem dolů po svahu a tam jsou v nich jasně patrná plochá korytovitá prohloubení. Nad jizvami a lysinami je vrstva zvětralin, krytá trávou, zakončená velmi příkrým, místy zcela svislým stupněm, vysokým 15—20 cm. Ukloněné stromy se vyskytují právě při horním okraji jizev a lysin. Svými kořeny jsou zakotveny hluboko do skalního podloží, takže je zřejmé, že u nich nenastal při uklonění kmene též jejich bočný posun i s kořeny. Na dolní straně kmenů, obrácené po svahu, jsou skluzem zvětralin obnaženy a podebrány horní části kořenů. Na náhorní straně kmenů, obrácené proti svahu, je zřetelně vidět nahnutí zvětralin, které se opírají o kmen.

Z těchto skutečností je jasně patrný způsob pohybu zvětralin, který vede k vychýlení stromů. To, že zvětralinový plášť je porušen jizvami a lysinami, ukazuje, že tu nejde o souvislý pohyb vrstvy zvětralin jako celku, nýbrž o pohyb jen některých jejích částí, zatím co jiné, souvislejší části vrstvy zůstávají na původním místě. Zužování jizev a zejména lysin po svahu dolů v plochá korytovitá prohloubení, která jsou podle mého názoru výsledkem eroze, ukazuje, že při pohybu zvětralin se velmi podstatně uplatňuje činnost ronů, který se postupně, po svahu dolů, soustřeďuje. Erosní vyhlazení korytovitých prohloubení a nakupení zvětralin u kmenů, o něž se jejich pohyb zarazil, svědčí o tom, že tu nejde o drobné, pomalé individuální posuny jednotlivých částí, nýbrž o společný, současný pohyb celé hmoty postižené části zvětralinového krytu. Pohyb se neděje stále, nýbrž periodicky na různých částech svahu a zastavuje se opět, jakmile přestanou působit jeho příčiny. Tyto příčiny, které působí společně, jsou unášecí činnost ronů, přitížení hmoty zvětralin způsobené jejich napojením srážkovou vodou a zvýšení jejich pohyblivosti způsobené jejich rozbrzdnutím. Jistou úlohu tu asi má i petrografická povaha skalního podloží zvětralin, jak lze soudit podle toho, že se tento druh pohybu zvětralin nevyskytuje obecně na všech svazích o určitém úhlu sklonu. Další zkoumání tuto otázku jistě blíže osvětlí.

Domnívám se, že podstatu svahového pohybu zvětralin na příkrých svazích, způsobujícího vychýlení stromů, plotů apod., nejlépe vystihne název *klouzání ssutí*. Klouzání ssutí je jiný, samostatný druh svahového pohybu, odlišný svou podstatou i svými účinky od plíživého pohybu zvětralin.

Je to pohyb sice zjevný, způsobující zřetelné jevy na svazích, avšak nezpůsobuje podstatné změny ani sklonu, ani výšky svahů. Rovněž neporušuje řádně založené objekty. Proto jej řadím mezi svahové pohyby neporušující stabilitu svahů.

Plíživým pohybem zvětralin podle mého názoru také nelze vysvětlovat poruchy potrubí, mostů a pod., jak činí zejména R. H a e f e l i.

Poněvadž závěry, které z Haefeliho teorie vyplývají, se podstatně dotýkají nejen důležitých problémů mechaniky zemin, nýbrž též závažných otázek teoretické a aplikované geomorfologie, rozeberu ji podrobně ve zvláštní kapitole.

Ve své teorii tlaku způsobeného plíživým pohybem (Kriechdrucktheorie) Haefeli vychází z názoru, že ve svahových uloženíích, soudržných i nesoudržných, pokud neobsahují napjatou průlinovou vodu, se vyskytují podobné plíživé pohyby částic jako v ukloněné, na svahu ležící planparalelní vrstvě sněhu. Plíživé pohyby v obou případech považuje za plastické deformace a pro jejich podobnost dochází k závěru, že pro výklad plíživého pohybu svahových uložení možno do jisté míry použití vztahů odvozených mezi stavem deformace a stavem napětí sněhové vrstvy. Sníh pokládá Haefeli za zvláště vhodný k studiu těchto vztahů, poněvadž je to materiál, v němž je možno plastické pochody studovat ideálním způsobem. Proto podle něho analýsa rovnováhy sněhové pokrývky vedla k řešením, jež mají obecnější význam. Při použití těchto řešení pro svahové uložení je však nutná jistá modifikace, která přihlíží k tomu, že tyto horniny nejsou materiál ideálně plastický, jako je sníh, nýbrž materiál nedokonale plastický.

Abyste mohl řešit stav napětí plastické planparalelní vrstvy sněhu v důsledku vlastní váhy, musel Haefeli učinit jisté předpoklady o stavu přetváření. Při stanovení těchto předpokladů se opíral o zevrubné pozorování. Na základě předpokládaného speciálního stavu přetvoření mu pak bylo možno stanovit směry hlavních napětí, resp. trajektorií. Stavem přetvoření (Deformationszustand, Verformungszustand) tu Haefeli rozumí plíživý pohyb částic sněhu (Kriechvorgang, Kriechbewegung).

Tento plíživý pohyb vysvětluje takto:

Mějme planparalelní, bočně neomezenou vrstvu složenou z plasticky stlačitelného materiálu (sněhu), který je ve směru vrstvy zcela stejnorodý. Vrstva spočívá na pevném skalním podloží a je ukloněna. Úhel sklonu sněhové vrstvy, který je souhlasný se sklonem jejího podloží (svahu), je ψ . Mocnost vrstvy je y , výška sněhu měřená ve svislém směru je h . Objemová váha sněhu je γ_s . Vztah mezi h a y je dán rovnicí

$$y = h \cdot \cos \psi. \quad (4)$$

V této vrstvě probíhají vlivem její vlastní váhy, sklonu a tzv. „metamorfosy“ plastické deformace. „Metamorfosou“ rozumí Haefeli krystalickou přeměnu od sypkého sněhu přes firn v led. Při deformaci jednotlivé sněžné krystaly konají plíživý pohyb, jehož směr v svírá se sklonem svahu úhel β , který Haefeli nazývá úhel plížení (Kriechwinkel), vrstva se zhušťuje a sšedá (obr. 9). Plíživý pohyb této vrstvy může být v každém určitém čase charakterisován jediným profilem rychlostí. Všechny body ležící v téže rovině rovnoběžné s povrchem svahu mají ve stejné době stejný směr a stejnou velikost rychlosti. Profil rychlostí má tvar trojúhelníku s rovnoběžnými rychlostmi všech bodů vrstvy, jehož vrchol leží bezprostředně pod povrchem pevného skalního podloží. Každá myšlená přímka spojující v rovině řezu jednotlivé sněžné krystaly zůstává při plastické deformaci (plíživém pohybu) přímou, při čemž se pootočí kolem svého průsečíku s pevným skalním podložím. Rovinný stav napětí sněžné vrstvy je pak za předpokladu trojúhelníkového rozdělení rychlosti jednoznačně určen sklonem vrstvy, objemovou váhou sněhu a směrem plíživého pohybu (obr. 10).

Pro libovolný bod P ležící v rovině řezu se první hlavní napětí vypočítá podle rovnice

$$\sigma_1 = y \cdot \gamma_s \left[\cos \psi + \sin \psi \cdot \cotg \left(45^\circ + \frac{\beta}{2} \right) \right] \quad (5)$$

a druhé hlavní napětí podle rovnice

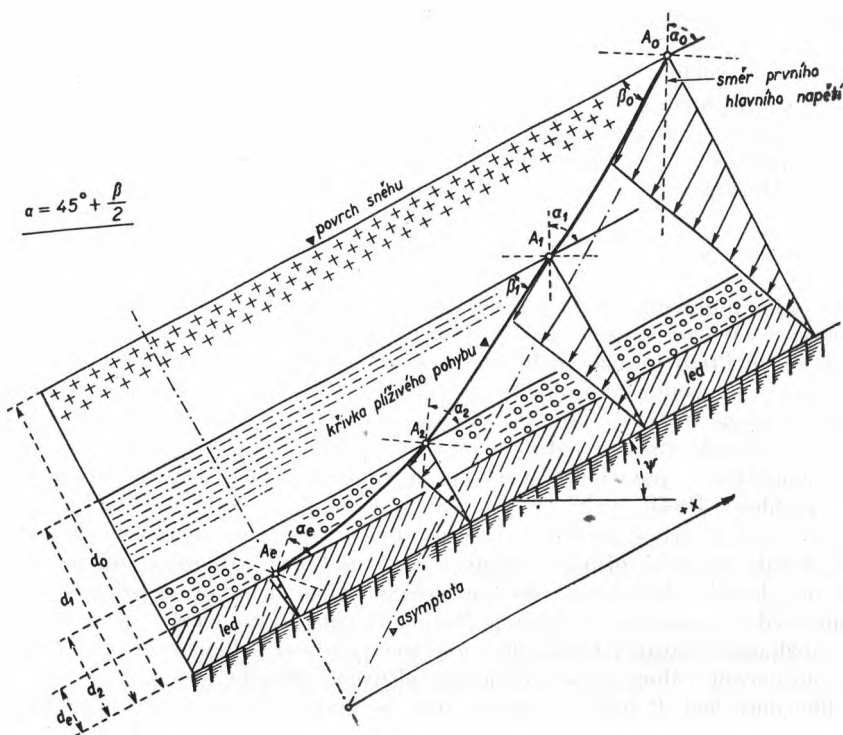
$$\sigma_{11} = y \cdot \gamma_s [\cos \varphi - \sin \varphi \cdot \operatorname{tg} (45^\circ - \frac{\beta}{2})]. \quad (6)$$

Z rovnic (5) a (6) plyne, že při daných hodnotách y , γ_s a φ závisí napětí pouze na směru plíživého pohybu β . Teoreticky i experimentálně Haefeli dokázal, že během metamorfozy a zhutňování vrstvy sněhu se s rostoucí objemnou váhou a s přibývajícím tuhostí sněhu zmenšuje úhel β a snižuje se rychlost plíživého pohybu. V důsledku toho se jednotlivé sněžné krystaly při plízivém pohybu zakřivené dráze (obr. 9). Povahu této křivky plíživého pohybu lze podle Haefeliho přibližně vyjádřit rovnicí jedné nebo několika hyperbol. Konečného stadia metamorfozy je dosaženo tehdy, když se celá sněžová pokrývka zhutní v neprůhlednou ledovou vrstvu, při čemž úhel $\beta = 0$.

Závisí tedy úhel β na stavu (metamorfoze) sněhu. Kromě toho však závisí též na úhlu sklonu φ sněžné vrstvy. Závislost úhlu plíživého pohybu na sklonu sněžové vrstvy vyjadřuje Haefeliho přibližnou rovnicí

$$\operatorname{tg} \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi \approx \operatorname{tg} \beta_{45}. \quad (7)$$

V této rovnici úhel β_{45} znamená úhel plíživého pohybu ve vrstvě ukloněné 45° , který podle Haefeliho možno stanovit na základě laboratorních zkoušek (11). Tangens



Obr. 9. Plíživý pohyb při postupném zhutňování vrstvy sněhu. (Podle R. Haefeliho 1944.)

úhlu plíživého pohybu pro sklon vrstvy $\psi = 45^\circ$ ($\text{tg } \beta_{45}$) tedy slouží jako konstanta materiálu a srovnávací hodnota (11). Při dané hodnotě $\text{tg } \beta_{45}$ je pak možno přibližně vypočítat směr plíživého pohybu a stav napětí na svahu (11).

Postaví-li se plíživému pohybu v cestu nějaká překážka, buď umělá, např. opěrná zeď, mostní pilíř, nebo jiná stavba, nebo překážka přirozená, např. skaliska apod., působí na ni plížíci se hmoty tlakem.

Je-li takovým objektem opěrná zeď, stojící kolmo k ukloněné vrstvě sněhu o konstantní mocnosti, působí na ni podle Haefeliho tzv. celkový tlak sněhu S , který se skládá ze dvou částí: ze statického tlaku S_s a z vlastního tlaku vyvolávaného plíživým pohybem S_k :

$$S = S_s + S_k. \quad (8)$$

Statický tlak S_s je možno si představit jako se svahem rovnoběžnou složku výslednice všech sil v rovině řezu, která působí v rovině omezující nahore tzv. oblast zahrazení (Staubereich) nad opěrnou zdí. Tlak vyvolaný plíživým pohybem S_k vzniká brzděním plíživého pohybu uvnitř oblasti zahrazení.

Názvem „oblast zahrazení“ — „zahrazená oblast“ (Staubereich) rozumí Haefeli pásmo, uvnitř něhož je stav napětí a stav deformace znatelně ovlivňován opěrnou zdí, která stojí pod ním (11) (obr. 11).

Statický tlak lze vypočítat z rovnice

$$S_s = \gamma_s \cdot \frac{h^2}{2} \cdot \cos^2 \psi (1 - 2 \text{tg } \psi \cdot \text{tg } \beta). \quad (9)$$

Tlak působený plíživým pohybem se vypočítá pomocí rovnice

$$S_k = \frac{1}{3} \gamma_s \cdot h^2 \cdot \cos \psi \sqrt{\sin 2 \psi \cdot \text{ctg } \beta} = \frac{1}{3} \gamma_s h^2 \cdot \cos^2 \psi \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{\text{tg } \psi}{\text{tg } \beta}}. \quad (10)$$

Na základě rovnic (8), (9) a (10) dostává Haefeli pro celkový tlak sněhu S rovnici

$$S = \gamma_s \cdot \frac{h^2}{2} \cdot \cos^2 \psi \left[\cos \psi (1 - 2 \text{tg } \psi \cdot \text{tg } \beta) + \frac{2}{3} \sqrt{2 \cdot \frac{\text{tg } \psi}{\text{tg } \beta}} \right]. \quad (11)$$

Výraz v hranaté závorce je pro daný úhel ψ tím větší, čím menší je úhel plíživého pohybu β . Jak jsme již uvedli, zmenšuje se úhel β s přibývajícím hutností sněhu (s rostoucí objemovou vahou). Obě tyto změny (vzrůst objemové váhy a zmenšení úhlu β), které třeba přičísti metamorfose, podmiňují stálý vzrůst statického tlaku S_s , tlaku plíživého pohybu S_k a délky oblasti zahrazení x'_2 .

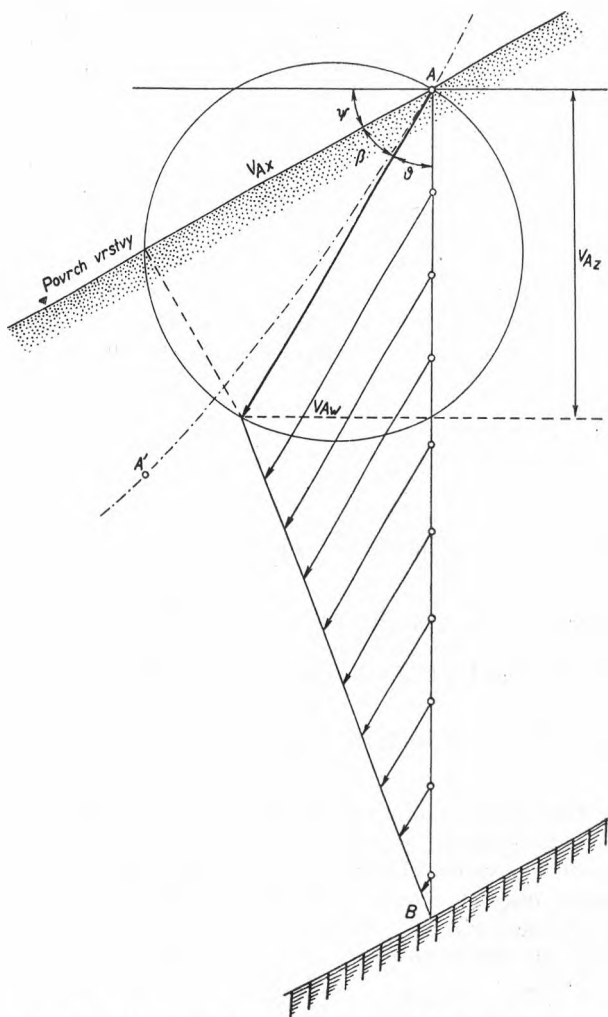
Délka oblasti zahrazení se vypočítá pomocí rovnice

$$x'_2 = h \sqrt{\frac{2}{\text{tg } \beta_{45}}}. \quad (12)$$

Je poměrně malá. Tak např. pro výšku sněhové vrstvy 3,0 m při objemové váze sněhu 400 kg/m^3 a při $\text{tg } \beta_{45} = 0,325$ měří podle Haefeliho 7,5 m.

Plíživé pohyby a s nimi spojené jevy napětí jsou podmíněny pouze změnou tvaru jednotlivých částí dané hmoty, při čemž vnitřní povaha procesu změny tvaru je bez významu, tj. nezáleží na tom, zda stále pokračující zhutnění je způsobeno čistě mechanickými, nebo chemickými, nebo krystalografickými pochody. Proto se plíživé po-

hyby neomezují pouze na sněhovou pokrývku, nýbrž vyskytují se i u hornin (zemín). Metamorfosa sněhu je jen jedním případem obecně rozšířeného jevu. Také v ssufových osypech, které jsou převážně složeny z hrubých součástí, k nimž má přístup voda a vzduch, způsobuje větrání a místní přemáhání drolení a drcení míst, která přenašejí tlak. Následkem toho se jednotlivé částice osypu dostávají do těsnějšího styku a celá



Obr. 10. Schema profilu rychlostí při plíživém pohybu. (Podle R. Haefeliho 1942.)

Rychlost přetvoření závisí podle Haefeliho v první řadě na petrografických a mikroklimatických poměrech. U jílu a hlín jsou tvarové změny obaly nejmenších částic zeminy.

Z předešlých výkladů a úvah plyne podle Haefeliho, že na všech svazích tvoře-

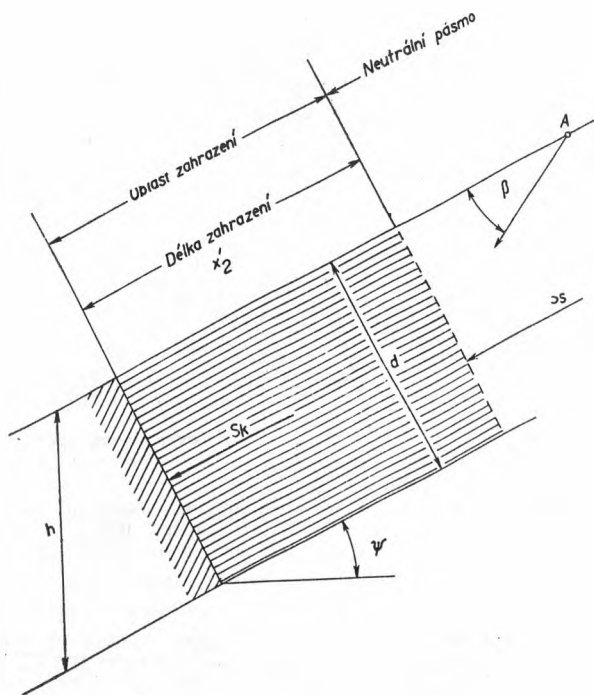
hmota se tak ztuhuje. Tento pochod ztuhování je obdobný plíživému pohybu ukloněného sněhového krytu, jen s tím rozdílem, že se děje mnohem pomaleji a zřídka kdy se dá vyjádřiti trojúhelníkovým profilem plíživého pohybu částice hmoty. Haefeli proto podává grafické řešení plíživého pohybu zemín na základě předpokladu, že rovinný stav přetvoření daného plastického tělesa je dán v nákretné rovině ležícími rychlostmi plíživého pohybu průsečíků původně kvadratické sítě čar. Pak úloha spočívá v tom, nalézt směr hlavních napětí v uzlovém bodě P sítě čar (12) (obr. 12). Podle obr. 12 horizontála AB přejde v jednotce času v křivku $A'B'$ a vertikála CD v křivku $C'D'$. Stav přetvoření v uzlovém bodě P a v jeho okolí je dán dvěma na sebe kolnými profily rychlosti plíživého pohybu, tj. horizontálním profilem $APB - A'P'B'$ a vertikálním profilem $CPD - C'P'D'$. Vedeme-li bodem P' tečny na obě profilové linie $A'P'B'$ a $C'P'D'$, pak tyto tečny protnou základnu v bodech T_1 a T_2 , které jsou středy otáčení přímkou T_1P a T_2P při momentovém plíživém pohybu.

ných svahovými uloženinami probíhá pomalý plíživý pohyb. Jestliže na takovém svahu stojí nějaká stavba, jejíž základy spočívají částečně na pevném skalním podloží, částečně na svahových uloženinách, je vystavena tlaku plíživého pohybu zvětřalin, který průběhem doby vzrůstá a během desítek let může stavbu velmi porušit, popřípadě i zničit (14).

Jako doklad ničivého účinku tlaku plíživého pohybu zvětřalin uvádí Haefeli porušení Castielského viaduktu na trati Chur — Arosa ve Švýcarsku. Tento viadukt před svým porušením a rekonstrukcí byl zděný, o třech obloucích a převáděl v délce 93 m železniční trať přes hluboké údolí Castielského potoka, nedaleko od jeho ústí do řeky Plessur. Nad korytem potoka dosahoval výše cca 53 m.

Případ Castielského viaduktu poskytuje řadu zajímavých údajů, které jsou cenným praktickým doplněním teoretických úvah o tom, zda je skutečně možno Haefeliho teorii plíživého pohybu sněžné pokrývky aplikovat i na svahové uloženiny. Proto zde poněkud podrobněji popíšeme podle Haefeliho líčení z r. 1945 způsob založení i průběh porušení tohoto železničního objektu (13).

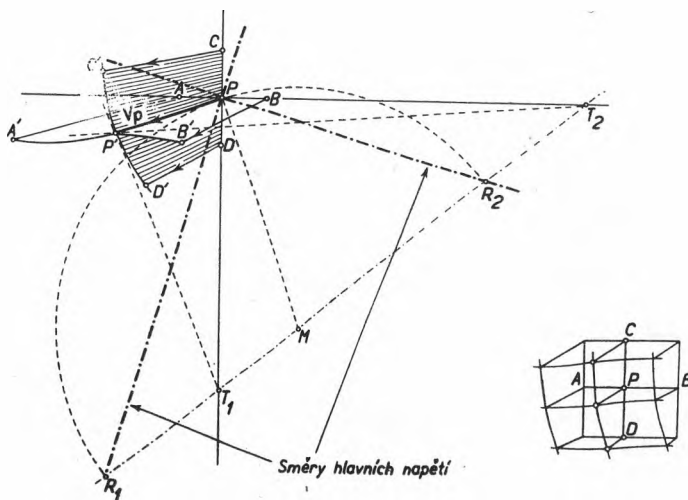
Hluboké údolí Castielského potoka má v místech přemostěných viaduktem asymetrický příčný řez (obr.13). Východní svah je tvořen příkrou, téměř svislou stěnou zbudovanou z prätigauského flyše, který snadno větrá. Střídají se tu vrstvy vápnných pískovců a vrstvy vápnných jílovitých břidlic, ukloněné 30° k východu. Západní svah je složen z kamenité svahové ssuti, která z části obsahuje hlinitou příměs. Na některých místech vyčnívají ze ssuti rozervaná skaliska, složená rovněž z prätigauského flyše, na jiných místech se objevují četné menší lysiny, které nasvědčují povrchovému sesouvání. Kamenitá svahová ssut' prodělává plíživý pohyb, který směřuje hlavně k řece Plessur, jež podemílá patu svahu. Castielský potok teče v okolí viaduktu na styku skalního podloží s kamenitou ssutí. V době od r. 1934 do r. 1944, tedy během asi 10 let, se zahloubil o 1 m a v roce 1944 leželo jeho koryto v ose mostu v kompaktní skále. Břežní pilíř 2 a pilíř 2 jsou založeny na skále, březní pilíř 1 a pilíř 1 naproti tomu v ssuti.



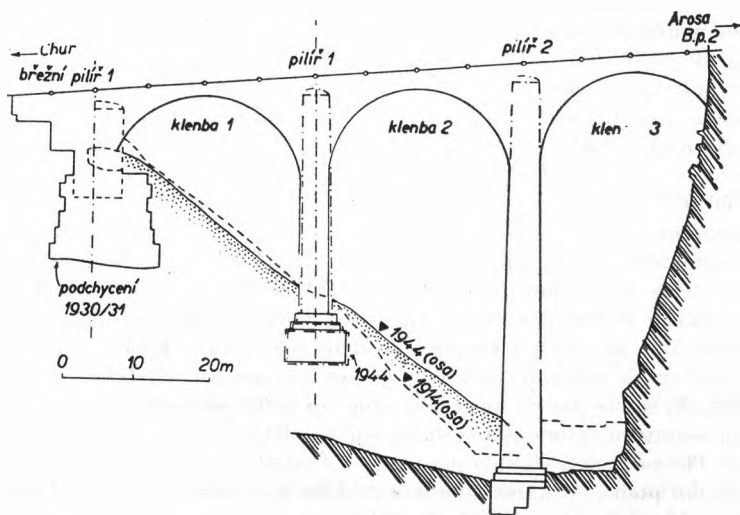
Obr. 11. Schematické vyznačení významu použitých označení. (Podle R. Haefeliho 1942.)

Provoz na dráze Chur — Arosa byl zahájen 12. prosince 1914. Poruchy se počaly projevovat v r. 1923. V jejich průběhu rozlišil Haefeli pět fází, jejichž povaha a účinky jsou schematicky znázorněny na obr. 14.

V první fázi, od 23. září 1923 do 16. září 1930, se zvedla klenba 1 (bod 8) o cca 10 cm, klenba 2 (bod 16) o cca 6 cm, zatím co březní pilíř 1 sesedl o cca 6 cm, přičemž se zároveň posunul bočně směrem ku středu údolí (velikost tohoto bočního

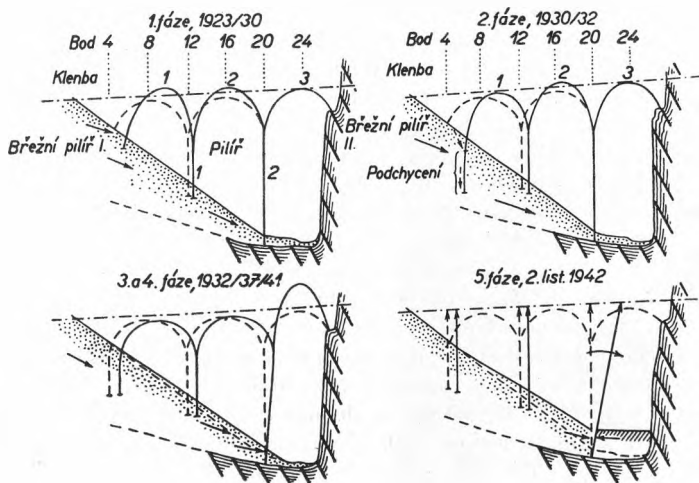


Obr. 12. Obecná konstrukce směrů hlavních napětí při rovinném přetvoření. (Podle R. Haefeliho 1944.)



Obr. 13. Schematický podélný řez Castielským viaduktem před přestavbou. (Podle R. Haefeliho 1945.)

posunu Haefeli číselně neudává, je však patrná z obr. 14). Pilíř 1 ssedl a posunul se bočně jen poměrně málo. Proto nejvíce byla porušena klenba 1, na níž nastal i příčný posun ve směru sklonu údolí Castielského potoka, jehož velikost Haefeli rovněž číselně neudává, který se však zřetelně jeví na fotografii viaduktu na obr. 2 v cit. Haefeliho práci (13).



Obr. 14. Schematické znázornění fází poruch Castielského viaduktu. (Podle R. Haefeliho 1945.)

V druhé fázi, od 16. září 1930 do 7. dubna 1932, byly prováděny první rekonstrukční práce na viaduktu. V této fázi se na průběhu poruch projevila dvě období. V prvním z nich, do 7. srpna 1931, byl podchycen březní pilíř 1, což ale způsobilo jeho ssednutí o cca 320 mm a zároveň bočný posun kolmo na mostní osu o cca 180 mm směrem po sklonu údolního dna. Následkem toho poklesla též klenba 1 o 59 mm. Naproti tomu se klenba 2 zvedla o 44 mm, kdežto pilíř 2 ssedl o 8 mm. Při tom se pilíř 2 též značně posunul směrem k ose údolí. Číselnou hodnotu tohoto posunu Haefeli neuvádí, posun je však zřetelně patrný ze schematického obrázku (obr. 14). V druhém období druhé fáze poruch, od 7. srpna 1931 do 7. dubna 1932, tj. po podchycení březního pilíře 1, nenastaly na viaduktu značnější deformace, což Haefeli připisuje tomu, že tlak přechodně ustal. Pouze pilíř 1 ssedl o 4 mm, což Haefeli přičítá obecnému plíživému pohybu, a březní pilíř 1 ssedl o 8 mm následkem rychlého doznívání ssedání vyvolaného pracemi při jeho podchycování.

Třetí fázi deformačního procesu vymezuje Haefeli dobou od 7. dubna 1932 do 10. května 1937. Na počátku tohoto pětiletého období byly zesíleny poškozené klenby 1 a 2. Pokračující pohyb však poškodil nezesílenou klenbu 3, jejíž vrchol (bod 24) se zvedl o 30 mm.

Porušování klenby 3 pokračovalo i ve čtvrté fázi (10. květen 1937 až 8. říjen 1941) a projevilo se zdvihem jejího vrcholu o cca 200 mm. Současně ssedl i pilíř 2. Porušení klenby 3 vysvětluje Haefeli tím, že na březní pilíř 1 znovu počal působit tlak plíživého pohybu, který po jeho podchycení v r. 1931 dočasně ustal.

Za pátou fázi deformační považuje Haefeli poruchu, která nastala dne 2. listopadu 1942. Tehdy po stržení tří kleneb, které bylo provedeno při celkové přestavbě via-

duktu, se pilíř 3 uklonil směrem k údolní ose; vychýlení v horní části pilíře při tom činilo 52 mm. Tato deformace neměla podle Haefeliho přímý vztah k předcházejícím čtyřem stadiím deformací, nýbrž byla způsobena dvěma příčinami. Předně se na náhorní straně pilíře během 30 let (1914—1944) nakupila další mocná vrstva kamenitých ssutí (obr. 14), což způsobilo podstatné zvýšení tlaku plíživého pohybu. Za druhé se na protilehlé straně pilíře objevilo ve zdivu defektní místo v podobě průběžného vrubu cca 1 m hlubokého. Následkem těchto dvou příčin byla po stržení klenby 3 spodní část pilíře 2 silně mimostředně namáhána, což způsobilo jeho náhlé naklonění.

Na základě Haefeliho studií dospěl V. M e n e l k závěru, že u kamenitých svahových ssutí, jejichž úhel sklonu svahu α se rovná úhlu vnitřního tření φ , je rovnováha porušena (25). V tom by se tedy u kamenitých ssutí jevila odchylka od ostatních sypkých hmot, o nichž se obecně soudí, že na svazích jimi tvořených, pokud jimi neprosakuje voda, jest rovnováha, jestliže úhel jejich sklonu α je shodný s tzv. úhlem přirozené sklonitosti, jenž se zhruba rovná úhlu vnitřního tření φ (25, 26).

Z rozboru Haefeliho výkladů plyne, že možnost použití jeho teorie pro kamenité ssutí a jiné svahové uložení závisí na tom, probíhá-li v nich tzv. metamorfosa, tj. změny tvaru jednotlivých částic a celkové zhutňování vrstev, skutečně takovým způsobem a tak rychle, jak si Haefeli představuje. Pokud jde o rychlost těchto změn, neuvádí Haefeli ve svých pracích konkrétní čísla. Uvádí jen, že plíživý pohyb svahových uložení probíhá mnohem pomaleji než plíživý pohyb sněhu. Z případu Castielského viaduktu je však zřejmé, že se domnívá, že doba necelých třiceti let stačí k tomu, aby nastala „metamorfosa“ tak účinná, že plíživý pohyb zvětralín, který je jejím následkem, způsobí tak veliký tlak, že mu nemůže odolat ani mohutná stavba.

Pokud jde o *jílovité a hlinité* svahové uložení, soudí Haefeli, jak jsme již uvedli, že změna tvaru zrn je tam způsobena změnami ohalového filmu vody.

Zmenšování, tj. ztenčování vodních obalů však způsobuje větší účinek molekulárních sil, jimiž zrna na sebe navzájem působí, zemina se zpevňuje a jednotlivá její zrna se stávají navzájem méně pohyblivými. Tento děj probíhá hlavně při povrchu vrstvy, kde je neúčinnější vliv vysychání. Při větším účinku vysychání je spojen s rozpraskáním jílovitých a hlinitých zemín. Naopak při větším zavlažení vodou z dešťů a tajícího sněhu jílovité a hlinité zeminy v povrchových polohách vrstvy bobtnají, popř. i rozbrzdávají (1, 25). K tomu se v zimě pojí vlivy promrzání, které rovněž sahají jen do určité hloubky. Všechny tyto pochody zasahují do jílovitých a hlinitých svahových uložení tak, že nedovolují, aby v nich vznikl plíživý pohyb podle teorie Haefeliho.

V důsledku poměru mezi úhlem sklonu svahu ϕ a úhlem plíživého pohybu β nelze plíživým pohybem podle této teorie také vysvětlit skutečnost, že postupem doby se svahové uložení v rámci celkové denudace území dostávají až k patě svahu, což podrobněji rozvedeme v souvislosti s otázkou plíživého pohybu kamenitých svahových ssutí.

Dalšími doklady svědčícími, že není možno aplikovat Haefeliho teorii na jílovité a hlinité svahové uložení, je jednak skutečnost, že v nižších částech svahů nejsou tyto zeminy hutnější než v částech vyšších, jednak fakt, že mocnost těchto svahových uložení není v dolních úsecích svahů menší než v úsecích horních, jak by tomu mělo být vlivem postupného zhutňování při plíživém pohybu podle Haefeliho.

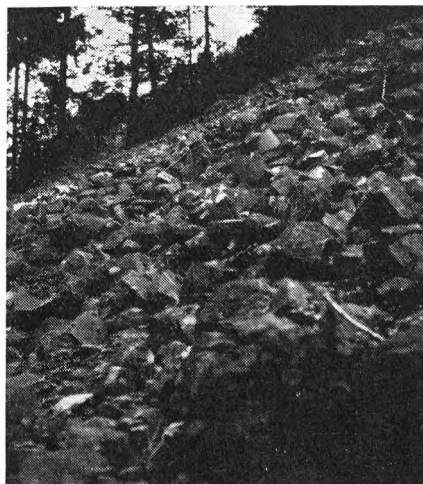
U kamenitých ssutí jsou změny tvaru částic a postupné zhutňování těchto uložení způsobovány podle Haefeliho pomalým drením navětralých míst dotyku, která přenášejí tlak. K tomuto názoru Haefeli zřejmě dospěl vlivem zkušeností se sněhovou vrstvou, kde čerstvě napadlý sníh se skládá z jednotlivých hvězdičkovitých kostrovi-

tých krystalků nebo z jejich chumáčků, vloček (15), jež mají jen volné uložení, dotýkajíce se navzájem jen jednotlivými rameny. U kamenitých ssutí však takové volné uložení částie, dotýkajících se pouze hranami, se nevyskytuje, a to ani u ssutí nově nebo nedávno napadaných. Pozorování učiněná na různých místech, např. ve Vysokých Tatrách, v Zádielské dolině, v brněnském okolí, v severních Čechách aj., jakož i laboratorní pokusy nám ukázaly, že způsob uložení částie kamenitých ssutí, ať je jejich petrografická povaha jakákoliv, je vždy stejný. Jednotlivé nepravidelné ostrobranné kameny se nedotýkají jen hranami, nýbrž též spočívají na sobě buď celými plochami svých stěn, nebo aspoň jejich podstatnými částmi (obr. 15). Ostrost hran, poměrná hladkost stěn a nepřítomnost produktů rozpadu mezi dotýkajícími se plochami svědčí o tom, že větrání kamenů v ssutích probíhá velmi pomalu, rozhodně zdaleka ne tak rychle, aby plíživý pohyb způsobený podle Haefeliho zmenšováním kusů se mohl projevit v tak krátké době tak vysokými tlaky, jaké Haefeli předpokládal např. při jednotlivých fázích porušení Castielského viaduktu. Třeba též přihlídnout k tomu, že kameny ležící ve spodní části svaňových uložení jsou více chráněny před větráním než kusy ležící blíže povrchu a na povrchu, zejména pokud jde o vliv insolace.

Svědectví o tom, jak dlouhá je doba, potřebná k rozpadu kamenitých ssutí vlivem větrání, podávají např. četné kamenité ssutě, kamenná moře aj. v našich zemích, které se stále ještě skládají z velmi hrubozrnných, až balvanitých částie, ač vznikly již v pleistocénu (15, 34).

Další doklady, svědčící proti Haefeliho výkladu plíživého pohybu kamenitých ssutí podává skutečnost, že v dolních, patě svaňu bližších částech uložení kamenitých ssutí není velikost kusů menší ani hutnost jejich uložení není větší než v polohách vyšších. Naopak, jak uvádí např. R. Kettner, kamenité ssutě jsou dole nejhrubší a směrem vzhůru se stávají drobnozrnnějšími (15). Rovněž mocnost kamenitých ssutí se směrem dolů, k patě svaňu, nezmenšuje, jak by bylo třeba předpokládat vzhledem k tomu, že podle Haefeliho teorie se uložení kamenitých ssutí postupně zhutňují. Naopak, podle R. Kettnera, ssednutí kamenitých ssutí bývá celkem nepatrné (15).

Jiný důvod proti aplikaci Haefeliho teorie na kamenité ssutí plyne z poměru mezi úhlem směru plíživého pohybu β a úhlem sklonu svaňu φ . I když se s postupem zhutnění úhel β podle Haefeliho zmenšuje, zůstává stále větší než úhel φ , v počátečních stadiích metamorfozy pak je podstatně větší. Z Haefeliho obrazu 9 je jasně patrné, že při směru pohybu vyjádřeném úhlem β by se částice s vyšších poloh svaňu nemohly dostat plíživým pohybem až k patě svaňu, nýbrž že by se mohly přemístit jen na poměrně krátkou vzdálenost od výchozího bodu, která na obrázku je o něco menší než dvojnásobek původní mocnosti vrstvy. V jiném případě, který Haefeli teoreticky řeší, udává, že délka pohybu částie z výchozí polohy na povrchu vrstvy až do bodu,



Obr. 15. Uložení balvanů kamenité ssutí. Severní svah Chlumu v Českém Středohoří. Olivinický čedič. (Foto prom. geograf T. Czudek.)

kde $\beta = 0$, je 2,4 krát větší než původní mocnost sněžné vrstvy (11). Zmenšení úhlu β na 0 ($\beta = 0$), tj. na hodnotu úhlu sklonu svahu ψ , nastává při metamorfóze sněhu podle Haefeliho tehdy, jestliže se sněhová vrstva nakonec zhutní ve vrstvu ledu, který jako nepórovitá hmota je nestlačitelný, takže jeho přetváření může dále pokračovat pouze ve směru rovnoběžném se sklonem svahu jako čistý posun ($\beta = 0$) (12). U kamenitých ssutí ovšem přeměna v nepórovitou a nestlačitelnou hmotu rozpadem jejich částic nenastává. I když možno teoreticky předpokládat, že s postupujícím zmenšováním rozměrů částic kamenitých ssutí se bude do jisté míry zmenšovat pórovitost vrstvy, přece jen svahová uloženína bude mít vždy povahu pórovité hmoty. Z aplikace Haefeliho teorie na kamenité ssutí proto nevyplývá žádný závěr o dalším pohybu částice a o deformacích vrstvy po dosažení jisté minimální hodnoty úhlu β .

Jiná obtíž při aplikaci Haefeliho teorie na kamenité ssutí vyplývá z úvahy o mocnosti vrstvy během plíživého pohybu. Například obr. 9 (12) ukazuje, že od počátku plíživého pohybu až do snížení úhlu β na nulovou hodnotu se mocnost sněhové vrstvy ukloněné 30° zmenšila přibližně na $\frac{1}{6}$ až $\frac{1}{7}$ původní mocnosti. Kdybychom např. předpokládali, že původní mocnost vrstvy kamenité ssutí je 3 m a její pórovitost 55 % (údaje o pórovitosti kamenitých ssutí jsem v literatuře nikde nenašel, proto užívám nejvyšší hodnoty udávané pro sypké sedimenty — ostrohranné šterky), pak vychází pro objem pevné minerální hmoty v jednotce této vrstvy o rozměrech $1 \times 1 \times 3$ m hodnota 1350 dm³. Kdyby se tato vrstva kamenité ssutí metamorfosou změnila v nepórovitou hmotu, změnila by se její mocnost na 1,35 m. Taková změna v nepórovitou hmotu ovšem není možná, a proto musíme počítat s jistou pórovitostí.

Kdybychom předpokládali, že se během plíživého pohybu kamenitá ssuť rozpadne až v ostrohranný šterk a kdybychom počítali s nejnižší hodnotou pórovitosti uváděnou v literatuře pro šterk, tj. 30 % (14), dosáhli bychom teoreticky zmenšení mocnosti vrstvy o 25 %, tj. o 75 cm. (Poněvadž Haefeli předpokládá, že při deformaci vrstvy při plíživém pohybu nenastává žádná ztráta pevné hmoty, takže si vrstva podržuje konstantní váhu, musíme při tom počítat s plným objemem minerální hmoty.)

Poněvadž podle Haefeliho o lze křivku plíživého pohybu schematicky vyjádřit hyperbolou (11), pak malé zmenšení mocnosti vrstvy při nejvyšším možném úbytku její pórovitosti nezbytně vyžaduje předpokládat malou počáteční hodnotu úhlu β . Tento nezbytný předpoklad se však dostává do rozporu s Haefeliho zjištěním, že hodnota úhlu β je závislá na objemové váze vrstvy v tom smyslu, že β se zmenšuje s přibývajícím objemovou vahou, neboli s ubývajícím pórovitostí. Pro kamenité ssutí na počátku „metamorfosy“ musíme předpokládat značnou pórovitost a tedy poměrně velkou hodnotu úhlu β .

Další obtíž při aplikaci Haefeliho teorie na kamenité ssutí a jiné svahové uloženíny vyplývá ze závislosti mezi úhlem sklonu svahu ψ a úhlem plíživého pohybu β . Haefeli uvádí, že tato závislost je v tom, že menšímu úhlu ψ odpovídá větší počáteční hodnota β a naopak (11).

Poněvadž charakter křivky plíživého pohybu lze podle Haefeliho přibližně vyjádřit nejjednodušeji rovnicí jedné nebo několika hyperbol, a protože počáteční hodnota úhlu β (β_0) je dána úhlem, který svírá s povrchem vrstvy tečna ku křivce plíživého pohybu procházející výchozím bodem tohoto pohybu, bylo by nutno předpokládat, že při menším sklonu svahu ψ se v průběhu „metamorfosy“ úhel β teoreticky zmenší na nulovou hodnotu při větším úbytku mocnosti vrstvy než při větším sklonu svahu. Poněvadž se předpokládá, že úhel β se zmenší na nulovou hodnotu ($\beta = 0$) při přeměně vrstvy v nepórovitou hmotu, plynulo by z toho dále, že při menším sklonu svahu se vrstva změní v nepórovitou hmotu při větším úbytku

své mocnosti než při větším úhlu sklonu svahu. Vzhledem k neměnnému množství pevné minerální hmoty to ovšem není ani teoreticky možné.

Nemůžeme-li tedy z uvedených důvodů aplikovati Haefeliho teorii plíživého pohybu sněhu na svahové uložení, jak vysvětlíme pohyby kamenitých ssutí, které nesporně způsobily poruchy na Castielském viaduktu?

Klíč k řešení tohoto problému nám podávají zjištění, která byla učiněna při zkoumání poruch Castielského viaduktu při jeho rekonstrukci. Tak Haefeli uvádí, že řeka Plessur podemílá svah, krytý kamenitými ssutěmi, na nichž je založen viadukt a že plíživý pohyb ssutí směřuje hlavně k této řece (13). V závěru práce o Castielském viaduktu pak doporučuje jako prostředek k částečnému zbrzdění plíživého pohybu, aby pata svahu byla zajištěna proti erozní činnosti Castielského potoka a aby bylo provedeno vhodné odvodnění (13).

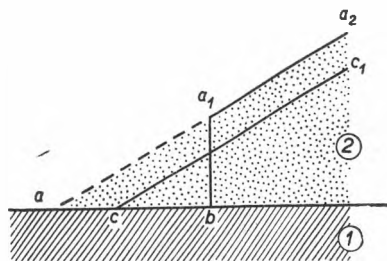
Na základě těchto zjištění lze vidět jednu z příčin pohybu kamenitých ssutí v erozi řeky Plessur a Castielského potoka. Uvědomíme-li si, jakým způsobem probíhají pohyby sypkých uložení, na něž působí hloubková a bočná erose, poznáváme, že je nutné jim přiznati jistý vliv na poruchy, které nastaly na Castielském viaduktu.

O pohybech, které vznikají v sypkých uloženíích při vertikálním nebo horizontálním zařezávání do svahů jimi tvořených, jsem v literatuře mně dostupné nenašel podrobnější údaje. Proto jsem provedl serií pokusů, a to jednak na sypkých píscích, jednak na ostrohranné drti z jurských vápenců. Tyto zeminy byly uloženy jednak na podloží vodorovném, jednak na podloží různě ukloněném. Povrch ukloněného podloží byl při některých pokusech hladký, při jiných drsný. Způsob pohybu písků i drti byl v podstatě stejný. Na jeho povahu nemělo vliv, zda se zařezání do uložení dalo svisle nebo vodorovně.

Pohyb sypkých zemín se vždy dál tak, že po skončení pohybu vznikla plocha, jejíž úklon se rovnal úhlu přirozené sklonitosti příslušné zeminy. Tato plocha neprocházela patou zářezu, nýbrž ustálila se tak, že její pata ležela vždy v určité vzdálenosti před čarou, na které před vznikem pohybu ležela pata zářezu (obr. 16). To bylo způsobeno tím, že do pohybu se dostaly jen svrchní polohy svahu, nikoliv celá hmota zemín v mocnosti rovné výšce svislé stěny zářezu.

Pohyb sypkých zemín byl kombinací pohybu klouzavého a valivého. To znamená, že některé částice se sunuly, jiné, zpravidla větší, se valily a pohybovaly se rychleji než částice ostatní. Na počátku pohybu částice nejbližší horní hraně zářezu přes ni přepadaly. Tím se při patě zářezu nasypala halda, po níž se pak další součástky sunuly dále. Halda tak narůstala současně do výše i směrem horizontálním ven od paty zářezu a to tak dlouho, až se vytvořila přímá plocha přirozeného sklonu v nižší úrovni, než ve které ležela původní plocha svahu. Úpatí nového přirozeného sklonu (c na obr. 16) se ustálilo v menší vzdálenosti od paty zářezu (b), než ve které byla pata původního svahu (a).

Jestliže zářez se neprovedl v celé délce svahu, úbrž jen v jisté jeho části, pak vznik přímé plochy nového přirozeného sklonu v nižší úrovni způsobil výškový rozdíl mezi touto sníženou plochou sklo-



Obr. 16. Schema tvarových změn při zřízení zářezu v sypkých zemínách. 1. Podloží. 2. Sypká zemina. $a - a_1 - a_2$: přirozený sklon před vytvořením zářezu. $a - b - a_1 - a_2$: profil svahu po vytvoření zářezu. $c - c_1$: přirozený sklon po pohybu vyvolaném zářezem.

nu a plochou svahu ležící v původní výši v těch částech svahu, pod nimiž nebyl proveden zářez. Tento výškový rozdíl způsobil pohyb částic z míst svahu ležících mimo zářez do prostoru snížené plochy svahu. Pohyb částic takto vyvolaný směřoval šikmo k ose části svahu porušené zářezem. Tak se pohyb sypkých uloženin v části svahu porušené zářezem (nebo podemláním) rozšiřoval i do přilehlých částí svahu zářezem neporušených. Měl-li zářez do svahu obloukovitý průběh (jak je tomu např. při podemlání svahu meandrem vodního toku), pak se snížená část svahu, porušená svahovými pohyby, směrem vzhůru rozšiřovala, takže její obrys měl přibližně hrůskovitý tvar. V horní části byla omezena obloukovitě probíhající prasklinou, která byla zvláště dobře patrná v ostrohranné drti, kdežto v písku nebyla zřetelně viditelná.

Několika pokusy jsem zkoumal, jaký vliv má pohyb ostrohranné drti na osamělý objekt (pilíř) založený v jisté hloubce pod povrchem svahu. Pokusy ukázaly, že pilíř se dostane do pohybu směrem po svahu dolů teprve tehdy, když se začne pohybovat vrstva, na které spočívá jeho základ. Pohyb pilíře probíhal nejprve tak, že se posouval bočně směrem po sklonu svahu, zároveň však zřetelně klesal vertikálně a udržoval se při tomto dvojím pohybu stále ve svislé poloze. Vertikální pokles pilíře byl zřejmě způsoben tím, že svou vahou stlačoval zrna ležící přímo pod ním, jejichž styk s okolními zrny se při pohybu ssutí rozvolnil. V dalším průběhu pohybu svahu se částice ležící při straně pilíře přivrácené k patě svahu pohybovaly rychleji než částice ležící na náhorní straně pilíře. Tak se část svahu mezi pilířem a podemlanou patou svahu snížila více než část svahu nad pilířem a mezi oběma těmito úseky vznikl stupeň. V důsledku toho se tlakem částic horního úseku pilíř vyklonil směrem po sklonu svahu a nakonec se překotil.

Porovnáme-li výsledky těchto pokusů s deformacemi Castielského viaduktu (obr. 14), vidíme zde značnou podobnost. Třeba při tom zejména uvážit, že syké svahové ssutí sahají ještě nejméně do výše 300 m nad viaduktem (13) a že k jejich rozvolnění a pohybu přispěly jak výkopy při stavbě viaduktu, tak i výkopy při podehycování pilířů během rekonstrukčních prací (13).

Další, druhou příčinou pohybu ssutí u Castielského viaduktu třeba vidět v tom, že ukloněné podloží svahových ssutí je tvořeno jílovito-hlinitým materiálem, který je rozmočený (7), takže celá hmota svahových ssutí spočívá na kluzkém podkladě. O tom, že pohyby ssutí na tomto svahu byly takových rozměrů, že byly nápadné i před zřízením Castielského viaduktu, svědčí mimo jiné i to, že svah byl již dříve označován jako Calfreiserský sesuvný terén (Calfreiserrutsch) (7).

Třetí příčinu pohybu ssutí třeba vidět v otřesech, kterými na podloží viaduktu působil železniční provoz. Otřesy mají v mnohem větší míře než statické zatížení vliv na pevnost struktury zemin, která je rozhodující veličinou odporu vůči namáhání ve smyku. Způsobují změnu v poměru uložení částic zeminy a každá taková změna polohy mění na krátký časový úsek velikost pevnosti ve smyku. Účinky otřesů se

zvysují se vzrůstem polybující se hmoty a její rychlosti ve smyslu vztahu $\frac{m v^2}{2}$.

Kritická energie kmitu odpovídá stavu nejmenší pevnosti ve smyku. Když v tomto stavu zemina nestačí vliv otřesů vydržeti, dostane se do pohybu (14).

Čtvrtou příčinou pohybu ssutí bylo jejich nadměrné zatížení, při nejmenším pod březním pilířem 1, který prodělal největší pohyby. H. C o n r a d uvádí, že zatížení na přední hraně tohoto pilíře bylo neobyčejně vysoké, 20 kg/cm² (7).

Na pohyb ssutí tedy mělo vliv několik příčin, které někdy působily odděleně, jindy se jejich účinky sčítaly. Nejde tu tedy o zvláštní případ plíživého pohybu.

Z rozboru svahových pohybů docházím k závěru, že svahové pohyby lze roztrždití podle jejich geomorfologických, geologických a mechanických znaků a se zřetelem k jejich významu pro stavební i jinou praxi takto:

Svahové pohyby

- A. Svahové pohyby neporušující stabilitu svahů.
 1. Plůživý pohyb zvětralin (souborný název).
 2. Klouzání ssuti.
- B. Svahové pohyby porušující stabilitu svahů.
 1. Skalní řícení.
 2. Sesuny (sesouvání, svážení):
 - a) sjíždění po vrstevních plochách,
 - b) sjíždění po puklinách a tektonických plochách,
 - c) plošné povrchové sesuny,
 - d) sesuny podél rotačních smykových ploch,
 - e) proudové sesuny.
 3. Klesání svahů vlivem vytlačování měkkého podloží.
 4. Proboření svahů.
 5. Soliflukce.

Mezi svahové pohyby nezařazují bahenní proudy a ssuťové proudy za vodních přívalů (mury). Ssuťové proudy, mury, se vyskytují nikoliv na svazích, nýbrž v roklicích a eročních rýhách, tj. tam, kde se může soustředit povrchová voda, jež je nutnou podmínkou jejich pohybu a jež bývá v ssuťových proudech obsažena v takovém množství, že poměr vody k pevným součástem bývá až 1 : 1 (27, 15, 34).

Rovněž k svahovým pohybům nečítám hákování vrstev, poněvadž tu nejde o samostatný svahový pohyb, nýbrž o deformaci navětralých čel vrstev způsobenou různými pohyby zvětralin nad těmito vrstevními čely. Je to tedy následek svahových pohybů.

LITERATURA

1. Babkov V. F., Bykovskij N. J., Gerburt-Gejlovič A. V., Tulajev A. J., *Nauka o zemínách a mechanika zemín*. Praha 1954. — 2. Baulig H., *Le profil d'équilibre des versants*. Essais de géomorphologie. Paris 1950. — 3. Baulig H., *Vocabulaire franco-anglo-allemand de géomorphologie*. Paris 1956. — 4. Bažant Zd. ml., *Methody zakládání staveb*. Praha 1956. — 5. Bendel L., *Ingenieurgeologie I*. Wien 1944. — 6. Bondarčuk V. G., *Osnovy geomorfologii*. Moskva 1949. — 7. Conrad H., *Der Umbau des Castieler Viaduktes der Linie Chur-Arosa der Rhätischen Bahn*. Schweizerische Bauzeitung, Bd. 124. 1944. — 8. Cotton C. A., *Geomorphology*. London 1949. — 9. Dylik J., *Peryglacjalne struktury w plejstocenie środkowej Polski*. Warszawa 1952. — 10. Flint R. F., *Glacial Geology and the Pleistocene Epoch*. New York—London 1953. — 11. Haefeli R., *Spannungs- und Plastizitätserscheinungen der Schneedecke*. Mitteilungen aus der Versuchsanstalt für Wasserbau an der Eidgen. Techn. Hochschule, Nr. 2, Zürich und Leipzig 1942. — 12. Haefeli R., *Erdbaumechanische Probleme im Lichte der Schneeforschung*. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau an der Eidgen. Techn. Hochschule, Nr. 7, Zürich und Leipzig 1944. — 13. Haefeli R., *Zur Erd- und Kriechdrucktheorie*. Mitteilungen aus der Versuchsanstalt für Wasserbau an der Eidgen. Techn. Hochschule, Nr. 9, Zürich und Leipzig 1945. — 14. Keil K., *Ingenieurgeologie und Geotechnik*. Halle (Saale)

1951. — 15. Kettner R., *Všeobecná geologie* III. Praha 1948. — 16. Kézdi A., *Einiges über Rutschungen bei Strassenbauten*. Strassen- und Tiefbau, Jhrg. 1958. — 17. Krejčí J., *Sesuvná území na Zlínsku*. Práce Moravské přírodovědecké společnosti, Brno 1943. — 18. Lahee F. H., *Field Geology*. New York and London 1944. — 19. Leggert R. F., *Geology and Engineering*. New York and London 1939. — 20. Lobček A. K., *Geomorphology*. New York and London 1939.

21. Longwell Ch. R., Flint R. F., *Introduction to Physical Geology*. New York — London 1956. — 22. Lukniš M., *Všeobecná geomorfológia I* (učební text). Bratislava 1954. — 23. Maljukov N. P., Mejtus M. Z., *Osnovy inženýrské geologie*. Moskva 1947. — 24. Martonne Emm. de, *Traité de géographie physique*, I, II. Paris 1948. — 25. Mencl V., *Mechanika zemin*. Praha 1955. — 26. Myslivec Al., *Mechanika zemin* (učební text). Praha 1954. — 27. Redlich K., Terzaghi K., Kampe R., *Ingenieurgeologie*. Wien 1929. — 28. Schultz J. R., Cleaves A. B., *Geology in Engineering*. New York — London 1955. — 29. Terzaghi K., *Theoretical Soil Mechanics*. New York 1946. — 30. Terzaghi K., Jelinek R., *Theoretische Bodenmechanik*. Berlin—Göttingen—Heidelberg 1954.

31. Thornbury W. D., *Principles of Geomorphology*. New York and London 1956. — 32. Vitásek Fr., *Fyzický zeměpis II*. Praha 1958. — 33. Willis B., Willis R., *Geologic Structures*. New York and London 1934. — 34. Záruba Q., Mencl V., *Inženýrská geologie*, 1. vyd. Praha 1954, 2. vyd. Praha 1957.

Recenzoval prof. dr. M. Lukniš

Ян Крейчи

К ТЕРМИНОЛОГИИ И КЛАССИФИКАЦИИ ДВИЖЕНИЙ ПОРОД СО СКЛОНОВ

В предлагаемой работе автор пытается унифицировать и уточнить терминологию движений пород со склонов, так чтобы одно понятие обозначало только один главный или второстепенный тип движения. Для этого необходимо выделить признаки, по которым можно ясно отличить друг от друга отдельные типы и группы типов (главные типы). Приходится принимать во внимание не только геологические условия и геоморфологические черты, но и физические и механические свойства пород, причины, вызывающие движение со склонов, а также то влияние, которое эти движения оказывают на инженерные сооружения. Учитывая все эти факты, автор предлагает классификацию движений пород со склонов, в которой выделяет две главных группы:

1. движения пород со склонов, не нарушающие устойчивость откоса,

2. движения пород со склонов, нарушающие устойчивость откоса.

Под устойчивостью откоса понимается постоянство его уклона и высоты, постоянство, существующее до тех пор, пока не нарушено статическое равновесие. Как только это равновесие нарушается, породы приходят в движение по склонам и вызывают значительные изменения их уклона и высоты, иногда являющиеся причиной повреждения различных построек и сооружений.

В первой главной группе автор различает два типа движений, имеющих характер оползания. Друг от друга эти типы отличаются скоростью, с которой происходят, и причинами, которые их вызывают.

Во второй главной группе автор выделяет пять главных типов: 1. обвалы, 2. оползни, 3. нарушение устойчивости откоса, вызванное выдавливанием мягкого основания, 4. нарушение устойчивости откоса, вызванное пльвунами, 5. солифлюкция. Вторым главным типом — оползни — автор делит на пять подтипов по их геологическому и геоморфологическому характеру и форме поверхности скольжения.

Автор предлагает только чешские термины, так как не считает себя вправе делать это для других языков.

Отдельная глава посвящена рассмотрению теории давления, вызванного ползучим движением продуктов выветривания, которая была разработана Р. Гэфели (R. Haefeli Kriechdrucktheorie). Автор объясняет почему отношения, введенные Гэфели для наклонного слоя снега, не могут быть приняты для отложений на склонах.

Перевод с чешского В. Андрусовою

EIN BETRAG ZUR TERMINOLOGIE UND KLASSIFIZIERUNG
DER BODENBEWEGUNGEN

In der vorliegenden Arbeit wird in erster Reihe ein Versuch gemacht, die Terminologie der Bodenbewegungen, die an Gehängen vorkommen, so zu einigen und zu präzisieren, dass jeder Begriff nur einen Haupttyp oder untergeordneten Typ von Bodenbewegungen bezeichne. Als unerlässliche Unterlage für ein solches Unternehmen erwies sich die Feststellung von solchen Merkmalen, nach denen sich die einzelnen Typen und Gruppen von Typen (Haupttypen) voneinander deutlich unterscheiden. Dabei musste die Aufmerksamkeit nicht nur auf die geologischen Verhältnisse und die geomorphologische Erscheinungsform gerichtet werden, sondern auch auf die physikalisch-mechanische Eigenschaften und Ursachen der Bodenbewegungen, sowie auf ihre Bedeutung für die Technik. Auf dieser Grundlage wurde dann eine Klassifizierung der Bodenbewegungen an Böschungen entworfen.

Bei dieser Klassifikation werden die Bodenbewegungen an Böschungen in zwei Hauptgruppen eingeteilt:

1. Bodenbewegungen, die die Stabilität der Böschungen nicht beeinträchtigen,
2. Bodenbewegungen, die die Stabilität der Böschungen stören.

Unter Stabilität der Böschungen wird die Standfestigkeit der Neigung und der Höhe der Böschungen aufgefasst, die so lange andauert, wie lange das statische Gleichgewicht ungestört bleibt. Die Störung des Gleichgewichtes verursacht Bodenbewegungen, die bedeutsame Aenderungen der Neigung und der Höhe der Gehänge zur Folge haben und gegebenenfalls beträchtliche Schäden an Bauwerken und anderen Objekten bewirken.

In die erste Hauptgruppe wurden zwei Typen von Bodenbewegungen an Gehängen eingereiht, die einen kriechenden Charakter haben und sich voneinander durch die Geschwindigkeit und die Ursachen der Bewegung unterscheiden.

In die zweite Hauptgruppe wurden fünf Haupttypen eingereiht, und zwar: 1. Bergstürze, 2. Rutschungen, 3. Störungen von Gehängen infolge von Verdrängung weichplastischer Massen, 4. Störungen von Gehängen infolge unterirdischer Sandströme, 5. Solifluktion. Der zweite Haupttyp, die Rutschungen, werden dann in fünf untergeordnete Typen geteilt, und zwar nach ihrem geologischen und geomorphologischen Charakter und nach der Art der Gleitfläche.

Es kann selbstverständlich nicht die Absicht des Verfassers sein, die zugehörigen Termini für eine andere als die tschechische Sprache vorzuschlagen. Aus diesem Grunde werden in der vorliegenden Zusammenfassung die vorgeschlagenen Benennungen nicht erwähnt.

In einem speziellen Kapitel befasst sich der Verfasser mit der Kriechdrucktheorie von R. Haefeli und gibt mehrere Gründe an, warum die für eine geneigte Schneedecke abgeleiteten Beziehungen auf Hänge, die aus Lockergesteinen gebildet sind, nicht anwendbar sind.

Aus dem Tschechischen übersetzt von Prof. Dr. Jan Krejčí