

4 METODY VÝZKUMU SESUVŮ

Svahové pohyby představují, zejména v současnosti, závažný socio-ekonomický problém, proto je jejich rozpoznávání velmi důležitou činností. Jejich včasná detekce může zabránit nejen materiálním škodám, ale co je důležitější, zachránit i lidské životy.

Metody výzkumu svahových deformací se dělí na výzkum v terénu, geofyzikální metody a laboratorní zkoušky.

4.1 Výzkum v terénu

Průzkum terénu se zpravidla rozděluje do několika etap:

- Předběžný průzkum

Zahrnuje stanovení rozsahu území, které je nutné prozkoumat, určení programu průzkumu (rozmístění vrtů, průzkumných štol atd.), studium archivního materiálu, geologické mapy a publikovaných zpráv o daném území, aby se nově nezkoumalo něco, co už bylo někdy v minulosti prozkoumáno.

- Zaměření území a podrobný inženýrsko-geologický průzkum celé oblasti

Pokud není pro mapování k dispozici vhodný topografický podklad, je možné použít i letecké snímky. Současně probíhá sondování, odebírání vzorků hornin a jiné aplikace. Výsledky podrobného průzkumu a laboratorních prací zhodnotí inženýrský geolog spolu s inženýrem geotechnikem v písemné zprávě, ve které by měly být obsaženy i směrnice pro účelnou sanaci sesuvu.

- Spolupráce inženýrského geologa při sanačních pracích

Zaměření a dokumentace dočasně přístupných odkryvů a profilů a zároveň kontrola závěrů průzkumu, popř. návrh dodatečného průzkumu.

- Inženýrský geolog dlouhodobě sleduje účinnost navrhovaných opatření

Pozorování změn v hydrogeologických poměrech a sledování případných dalších pohybů půdy. Účelem je přesvědčení se o správnosti provedených opatření a zajištění udržovacích prací.

4.1.1 Zaměření sesuvného území

Tento proces je na počátku každého výzkumu nějaké svahové deformace. Zahrnuje předběžné určení rozsahu ohroženého území, které se situačně i výškově zaměří a zakreslí do vrstevnicového plánu (obvykle v měřítku 1 : 5000 nebo v měřítku podrobnějším).

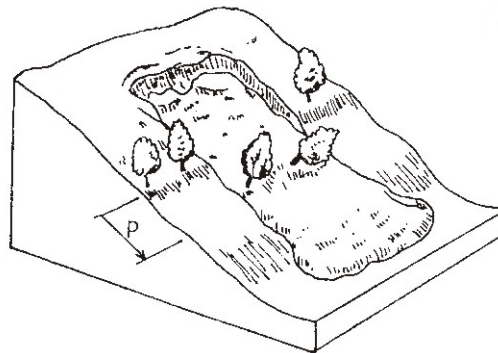
Samozřejmě se může k tomuto účelu použít i dokonalejších topografických podkladů jako jsou např. letecké snímky nebo plány pořízené pozemní fotogrammetrií, které nejlépe vystihují všechny podrobnosti reliéfu, což může podstatně usnadnit geologický průzkum.

K zaměření svahové deformace je možné použít také tachymetrickou metodu, což je geodetická metoda mapování, kdy je současně poloha a výška polohopisných nebo výškopisných bodů objektů zobrazených v mapě určována současným měřením úhlů a délek měřickým přístrojem postaveným na bodech o známé poloze (souřadnicích) a výšce.

Pokud není dostatek času pro podrobné zaměření celého území a vypracování vrstevnicového plánu, je nutno zaměřit alespoň několik význačných profilů, vedených od úpatí svahu přes akumulaci splaz až nad odlučnou oblast, včetně neporušeného území nad a pod sesuvem.

4.1.2 Užití leteckých snímků

Letecké fotografie jsou velmi užitečné, protože poskytují dokonalou mapu zkoumaného území. Většinou lze velikost pohybu dobře rozeznat na přerušovaných a posunutých cestách, silnicích, železničních tratích i vyznačených mezích a stromořadích, pokud tyto linie pokračují na neporušené území. Využívá se metodiky geologické interpretace pomocí černobílých nebo barevných leteckých snímků. Barevné letecké snímky lze vhodně využít převážně tam, kde existují rozdíly v barvách půdních druhů nebo typů hornin.



Obr. 1: Podle posunutých mezí a stromořadí může být stanovena velikost pohybu (p)

4.1.3 Užití geologických map

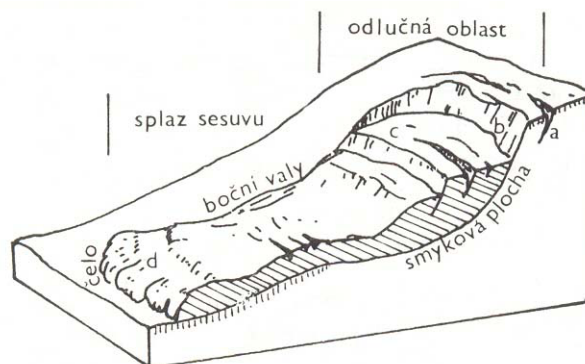
Pro předběžné studium stability svahů jsou nejvhodnější inženýrsko-geologické mapy, kde jsou znázorněny horniny skalního podkladu, povrchové pokravné uložení a sesuvy jsou vyznačeny zvláštními symboly.

4.1.4 Směrnice pro podrobné mapování sesuvů

Téměř u všech sesuvů mohou být rozlišeny tři hlavní zóny:

- a) odlučná oblast – je oddělena odlučnou stěnou od neporušeného svahu, má zpravidla tvar podkovité deprese, ze které se horniny sesuly po svahu dolů.
- b) splaz sesuvu – jedná se o transportní oblast sesuvu. Ta se nachází ve střední části sesuvu, ve které jsou sesouvající se hmoty přemísťovány z odlučné oblasti do oblasti čela svahové deformace.
- c) čelo sesuvu – jedná se o akumulární oblast, kde se hromadí sesutý materiál.

V odlučné oblasti bývá vidět také hlavní odlučná trhlinka a smyková plocha, podle které bylo těleso sesuvu odděleno od podloží.



Obr. 2: Schéma sesuvu: a) otevřené trhliny kolmé na směr pohybu, b) hlavní odlučná trhlinka, c) tahové trhliny, d) radiální trhliny

Pro návrh zabezpečení je důležité, aby se poznalo, zda jde o:

- a) sesuvy současné – vyznačují se čerstvými formami, odlučná oblast je omezena strmými nezarostlými stěnami, trhliny jsou otevřené, kořeny v trhlíně bývají napjaté. Cesty, meze a stromořadí vedoucí přes sesuvné území jsou přerušeny, stavení pobořená a deformovaná.
- b) sesuvy dočasně uklidněné (potenciální) - mají odlučnou oblast zpravidla zarostlou, akumulární část bývá porušena erozí, často je málo znatelná, např. částečně zakryta naplavenými kužely.

c) sesuvy stabilizované – jedná se o sesuvy stabilní, málo znatelné, zarostlé vegetací. Často spolu se sesuvy potenciálními tvoří jednu skupinu tzv. sesuvy ostatní.

Při mapování je také snaha o rozlišení sesuvů podle jejich stáří a stádia vývoje. Stáří určujeme podle geomorfologických znaků a podle vztahu sesuvných pohybů k pokryvným útvarům známého stáří i podle porostu. Ke stanovení hloubky sesuvů nebo pro určení stáří svahového pohybu lze použít také paleontologické metody, kdy lze v některých případech určit stáří podle poměru sesutých hornin k paleontologicky datovaným vrstvám.

4.1.5 Hydrogeologický výzkum

Je důležitý pro posouzení stability a pro návrh zabezpečení sesuvu. Úkolem výzkumných prací je především zjistit hloubku hladiny podzemní vody a její změny. Důležité je také zaznamenat do mapy všechny potoky, které do oblasti sesuvu přitékají, všechny prameny a vývěry podzemní vody, zamokřená místa i deprese bez odtoku. Při popisu sond je třeba pečlivě zaznamenat všechny údaje o podzemní vodě (kdy se objevila, kolísání atd.).

U sesuvů v jílovitých horninách může být ve vodě obsažené v pórech zeminy tlak, který má stejný vliv na stabilitu jako vztlak podzemní vody. Nelze jej však zjistit jednoduchým pozorováním hladiny vody ve vrtech, protože naplněním vrtu vodou se změní tlak v okolí vrtu. Proto je účelné zabudovat do samostatných vrtů (v dostatečné vzdálenosti od geologických sond) piezometrická zařízení k měření tlaku vody v pórech.

4.1.6 Měření pohybu sesuvu

Měření pohybu sesuvu se pozoruje postupný vývoj sesuvu a sleduje účinnost sanačních opatření. Existují různé metody, které dovolují měřit absolutní nebo relativní změny mezi pozorovacími a pevnými body. Mezi ně například patří:

- geodetická metoda je vyhovující pokud jsou měřené pohyby větší než 2,5 – 5 mm za rok, tj. větší než chyba měření. Tato metoda zahrnuje vytýčení sítě měřičských bodů, které se vhodně připojí na pevné body na sousedním neporušeném území. Změny v poloze měřičských bodů se zjišťují opakovaným měřením ve lhůtách buď pravidelných, nebo stanovených podle faktorů jež sesouvání způsobují, např. po jarním tání, po deštivém období apod.

- trigonometrická metoda je určena pro zjišťování horizontálních a vertikálních úhlů. Na základě úhlových změn se při kontrolních měřeních vypočítávají polohové i výškové posuny pozorovaných bodů. Tato metoda je poměrně pracná, časově náročná a kontrolní měření jsou nákladná. Užívá se proto jen při měření rozsáhlých, ekonomicky významných sesuvů.

- metoda „záměrné přímky“ se užívá v případě, kdy je znám směr pohybu sesuvu. Danou přímkou je možné vytýčit kolmo na předpokládaný pohyb. Koncové body přímky se stabilizují pevnými body umístěnými na neporušeném stabilním území a mezi ně se osadí na vlastním sesuvu pozorovací body. Kontrolním měřením se zjišťují vodorovné posuny pozorovacích bodů od záměrné přímky.

4.1.7 Vyšetření hloubky a tvaru smykové plochy

Toto vyšetření je podstatnou složkou výzkumu každého sesuvu. Průběh smykové plochy je zpravidla naznačen strmou stěnou, omezující odlučnou oblast v horní části svahu. Výchoz smykové plochy může být také při úpatí svahu. Vybíhá buď nad patou svahu nebo na dně údolí. V tom případě se část údolního dna zvedá a tvoří se val před čelem sesuvného splazu.

Poloha a tvar smykové plochy určují hloubku sesuvu, která bývá různá. Jako povrchové označujeme takové sesuvy, při nichž pohybující se vrstva není tlustší než 1,5 m, jako mělké sesuvy do 5 m, hluboké od 5 do 20 m a velmi hluboké více než 20 m. Hloubka sesuvu se obvykle měří kolmo k povrchu svahu.

Smyková plocha může být jedna, v některých případech se mohou vyvinout dvě i více smykových ploch nad sebou. U velkých sesuvů tvoří soustava smykových ploch i několik metrů mocné prohnětené zóny.

Průběh smykové plochy a hloubka sesuvu se zpravidla zjišťuje sondováním. Osvědčily se kopané šachtice nebo sondové rýhy, v nichž lze přímo zkoumat povahu jednotlivých vrstev, zjistit průběh smykových ploch i přímo odebírat neporušené vzorky pro laboratorní výzkum. Kopané sondy a rýhy se hloubí zpravidla v sesuvech, které jsou alespoň dočasně uklidněné. Zřizování hlubokých kopaných sond v uvolněných horninách, které jsou v pohybu, je velmi obtížné a nebezpečné.

Určení hloubky smykové plochy ve vrtech, je-li sesuv ještě v pohybu, je snadnější, protože se vrty na smykové ploše kříví. Obvykle se do vrtů spouštěly tyče, závaží nebo

vrtná soutyčí a podle toho, kde narážely, se usuzovalo, v jaké hloubce je smyková plocha. Tento způsob nebyl moc přesný, proto se začaly zavádět některé nové způsoby měření.

- v Japonsku byla vyvinuta metoda zjišťování aktivní smykové plochy pomocí průchodoměrů. Nevýhodou tohoto zařízení je, že průchodoměrná tyčka se zarazí v místech ohybu nebo usmyknutí sondy, ale nelze zjistit směr pohybu.

- pro měření malých a pomalých pohybů charakteru ploužení se užívá vrtů o velkém průměru, do nichž jsou osazeny betonové skruže. Nevýhodou je, že je-li v sondě voda, musí se před každým měřením vyčerpát. Zjišťuje se jak velikost posunu, tak i jeho směr, přesnost je však omezena výškou skruží, které většinou bývají 50 cm vysoké.

4.1.8 Polní zkoušky mechanických vlastností hornin

K řešení stability svahů je třeba znát i mechanické a indexové vlastnosti hornin a zemin. Patří zde:

- Deformační vlastnosti – většinou se určují u měkkých skalních hornin, poněvadž u většiny zemin lze použít laboratorních zkoušek. U pevných skalních hornin se polní zkoušky používají hlavně k určování vlastností na plochách částečné nebo úplné diskontinuity. V měkkých skalních horninách jsou k určení přetvárných vlastností obvykle používány polní zatěžovací zkoušky, které představují rozbor napětí pod tuhou kruhovou zatěžovací deskou.

- Smyková přetvoření a smykové zkoušky – při modelování mechanických procesů horninových těles se uplatňují dvě složky přetvoření: objemové změny a tvarové změny. Objemové změny mohou přispět k destrukci svahů a tvarové změny způsobují především ztrátu stability.

- Určení ulehlosti nesoudržných, zvláště písčitých zemin – ulehlost písčitých zemin je velmi důležitá pro poznání náchylnosti k sesouvání. Pokud je místo uložení přístupné, je vše jednodušší, protože existují způsoby, jak změřit pórovitost přístupné zeminy. Horší je případ, když je těleso ve větší hloubce nebo pod vodou. Q. Záruba – V. Mencl (1987) uvádí s odvoláním na Mittala (1974), že penetrační zkoušky udávají menší pórovitost, než je ve skutečnosti. Tyto zkoušky patří do metod nepřímého zjišťování vlastností hornin vtháněním penetrační sondy do horniny ve vrtu. Ze zjištěného odporu při vthánění se usuzuje na pevnost, ulehlost a únosnost horniny.

4.1.9 Měření přirozených vodorovných napětí v horninách

Při posuzování stability svahů hraje často rozhodující roli vodorovné napětí v horninách. Prakticky nejdůležitější je velikost vodorovných napětí ve směru kolmo k vrstevnicím svahu. Používané postupy zjišťování těchto napětí vycházejí zpravidla z metody tzv. „odstranění látky“. Tato metoda je založena na skutečnosti, že se pole napětí změní v tělese, jestliže odejmeme jeho část. Tím se těleso deformuje. Dovedeme-li tuto deformaci změřit, můžeme vypočítat původní stav napětí. Poněvadž zeminy vykazují větší přetvoření než skalní horniny, liší se způsob měření v obou případech.

U skalních hornin byla měření tohoto druhu použita nejdříve v rudných dolech a odtud se rozšířila do ostatních oborů. Válečkovité měřící tělísko je vpraveno do požadované hloubky vrtného otvoru. Na tělese jsou tykadla, dovolující změřit změnu průměru otvoru. „Odstranění látky“ se uskuteční např. tak, že se těleso horniny, tvořící stěny vrtu, obvrtá diamantovou korunkou o větším průměru. Tím se odstraní boční napětí kolem stěn vrtu, které způsobí změnu průměru původního vrtu. Po změření změny lze vypočítat jak velké bylo napětí, které se odstranilo. Spolehlivost tohoto způsobu měření je závislá na pečlivosti pracovního postupu i na počtu měření.

Pro povrch území v měkkých horninách vyvinul způsob měření Mencl (1965). Při měření se vyvrtal 30 až 40 cm hluboký otvor, okolo kterého se osadily čtyři trny, pomocí nichž se měřily změny vzdáleností. Liší-li se podstatněji přemístění trnů v obou průměrech, je vhodné zjistit napětí v těchto kolmých směrech. Velká rychlost zkoušky dovoluje, aby se vícekrát opakovala. Zpravidla se konají na dně mělkých kopaných jam, kde povrchové vlivy neovlivňují napětí v zemině.

Marchetti (1979) zavedl do praxe plochý dilatometr, tvořený v podstatě plochou ocelovou čepelí, která je na jedné z obou ploch opatřena tenkou ocelovou membránou, jejíž průměr je 60 mm. Při zaražení čepele do země se membrána vzepne tlakem plynu, čímž se určí tlak zeminy.

4.2 Geofyzikální metody

Stejně jako v ostatních oborech inženýrsko-geologické činnosti, mohou být tyto metody účinným pomocníkem i při úlohách porušení svahů.

Vyvinuly se tyto průzkumné metody:

- a) karotážní metody - karotážní měření se při výzkumu svahových deformací používají výrazně méně než povrchová geofyzika. Při tom přinášejí velmi cenné poznatky např. přesné určení rozhraní, propustné polohy, přítoky vody atd. Na druhé straně ale

není schopna přesně určit typ horniny, to je možné pouze z jádra nebo pomocí petrofyziky. Mezi karotážní metody patří metody akustické karotáže, metody „hustotní“ karotáže (představují takový způsob měření, u kterého jsou objemové hmotnosti přímým výstupem měření), elektrické karotáže (nejčastěji jsou aplikovány odporové metody) a nestandardní aplikace karotáže (týkají se možnosti karotáže při kontrole sanačních prací).

- b) metody přímého určování smykových ploch - metody, které jsou schopny ve vrtech přímo určit pozici smykové plochy nebo smykové zóny. Metody přímého určování smykových ploch zahrnují geoakustické metody (používá se geofonů, které využívají akustických projevů hornin vznikajících při změnách jejich struktury), metody přesné inklinometrie (měření odklonu vrtu od svislice a azimutu odklonu), metoda křehkých páskových vodičů (vychází z odlišné průtažnosti vodičů různého složení a velké průtažnosti plastové izolace) a ostatní metody (jedná se o metody šablon nebo metody extenzometrů – měření vzájemného posunu dvou míst).
- c) geoelektrické metody - jsou nejužívanější z geofyzikálních metod při průzkumu a výzkumu svahových deformací. Je to dáno velikou variabilitou geoelektrických vlastností v závislosti na litologickém složení hornin. Zároveň existují vhodné závislosti elektrických vlastností na fyzikálních parametrech hornin, které se uplatňují při procesech probíhajících v horninách a zeminách při svahových pohybech. Do geoelektrických metod patří vertikální elektrické sondování (založeno na změně měrného odporu hornin), odporové profilování (zahrnuje určení plošného omezení svahové deformace, případně stanovení výrazných subvertikálních prvků), režimní měření (studium projevů časových změn jednotlivých mechanických a fyzikálních vlastností na svahových deformacích) a ostatní geoelektrické metody (mají experimentální charakter).
- d) seizmické metody - představují druhý nejrozsáhlejší komplex geofyzikálních prací při průzkumu a výzkumu svahových deformací. Na naměřených veličinách seizmických rychlostí se tak výrazně neprojevuje litologie, jako u geoelektrických a zejména odporových metod. Za předpokladu, že svahová deformace nepostihuje výrazně litologicky odlišné celky jsou změny rychlostí hlavně funkcí fyzikálně-mechanického stavu horninového masivu. Součástí seizmických metod jsou průzkumná a režimní měření. Pro správnou interpretaci seizmických měření se provádí průzkumné měření, u kterých je velmi vhodné realizování parametrických měření – buď formou akustické karotáže nebo klasickým refrakčním průzkumem (určuje

hloubku a průběh seizmických rozhraní na základě času příchodu seizmických lomených vln od těchto rozhraní k zemskému povrchu). Další součástí seizmických metod mohou být i režimní měření zahrnující sledování změn šíření rychlosti šíření seizmických vln, které jsou často vázány pouze na časový faktor.

- e) termické metody - touto metodou je převážně dokumentován hydrologický režim sesuvu a jeho případné časové změny. Tato metoda byla pokusně aplikována na několika svahových deformacích a to podle informací v České a Polské republice (Bláha 1993).
- f) gravimetrické metody - při výzkumu svahových deformací se používají ojediněle (nejčastěji v Rusku). Ale přesto přinášejí vynikající výsledky. Výhoda této metody je nejen v určení zón s deficitem hmoty, ale i v možnosti konstruovat stavbu celé rozsáhlé svahové deformace a jejího okolí.
- g) magnetické metody – mezi tyto metody patří měření přirozeného pole a metoda magnetických značek. Co se týče měření přirozeného pole, tak výsledky jsou značně rozporuplné a pro praktický výzkum nepřinášejí jednoznačné závěry. Geomagnetika je schopna přinést údaje o litologii zkoumaného území, ale nejsou to již údaje, které mají přímý vztah k sesuvné struktuře. Zato metoda magnetických značek je vhodná pro určování posuvů rychlých sesuvů nebo sesuvů s velkými deformacemi. A to tak, že se do materiálu svahové deformace zabuduje permanentní magnet, jehož poloha se následně určuje pomocí magnetometrických měření.
- h) radiometrické metody - tyto metody nijak výrazně nepřispívají k poznatkům o svahových deformacích. Maximální koncentrace radonu je možné vysvětlit, jak zvýšeným tlakovým namáháním, tak koncentrací tahových napětí. Rozhodnout o tomto původu anomálie je možné pouze na základě opakovaných měření nebo porovnáním s jinými metodami. A navíc je toto zjišťování anomálií náročné na terénní měření.

4.3 Laboratorní zkoušky

Musí být časově i obsahově v souladu s terénními průzkumnými pracemi. Často totiž při nich vznikne potřeba dalšího polního průzkumu.

4.3.1 Mineralogické složení

Chování zemin přímo souvisí s mineralogickým složením. Dělení:

- a) Soudržné zeminy, které obsahují jílové nerosty s větší schopností vázat kationty a molekuly vody, jsou z hlediska stability svahů jedny z nejnebezpečnějších. Zvláště obávané jsou jílovce a jílovité břidlice s vrstvičkami montmorillonitických jílu. Po odlehčení svahu výkopem se jílovce rozpadají na drobné destičky a po přístupu vody se hornina mění v rozbředlou hmotu. Ale i bez rozpadu vykazují horniny obsahující tyto jílové minerály malé pevnosti ve smyku.
- b) Pokud jílovitá zemina obsahuje kationty, může obsahovat vázanou vodu nebo může být přítomná i voda volná. V prvním případě se uplatňuje známý předpoklad, že kationty s malým průměrem a velkým nábojem zvětšují pevnost ve smyku. Další skutečností je, že se při sesuvech uplatňuje i prohnětení zeminy. Rychlost konsolidace jílu může ovlivnit i povaha kationtů. Hydratované ionty s větší valencí s menším průměrem nejen zvětšují pevnost, ale i propustnost zeminy. Anionty zvětšují propustnost a příznivě upravují činnost drenážních žeber ve svazích tvořených potrhanými jíly. Škvára je z toho hlediska vhodnou výplní.
- c) Náchylnost k sesouvání zvětšuje také přítomnost K-iontů. Například některé pískovce v českém křídovém útvaru mají zvětšený obsah glaukonitu, ze kterého prosakující voda uvolňuje draslík. Alkalizovaná voda vyvolává disperzi jemných částí jílu a jejich odnos. Tím se zhoršují mechanické vlastnosti jílu.
- d) Massarch (1979) našel, že náchylnost k sesuvům se u nakypřených jílu zvětšuje, jsou-li ve styku se stokovou vodou. Laboratorní zkoušky ukázaly, že jíly mohou být změněny v senzitivní, jsou-li infiltrovány určitými pracími chemikáliemi či organickými látkami.

4.3.2 Indexové vlastnosti zemin

Dobrym ukazatelem charakteru jílovitých hornin jsou meze konzistence. Proto je třeba jejich určení a jejich významu věnovat pozornost. U sesuvů v povrchových zvětralinách je třeba sledovat jejich změny po výšce profilu sond a srovnáváním usuzovat o mechanických vlastnostech zeminy. Přitom je třeba pamatovat na to, že při určování mezí konzistence jsou vzorky horniny prohnětené.

Je patrné, že velikost konsistenčních mezí souvisí s mineralogickou povahou jílové frakce. Ale té může být v zemině větší nebo menší podíl. Proto se k přesnému poznání jílové frakce jíly analyzují chemicky a zkoumají rentgenovými paprsky i diferenční

termickou analýzou. Q. Záruba – V. Mencl (1987) uvádí s odvoláním na Skempton (1948, 1953), že je účelné věnovat pozornost i číslu aktivity, tj. poměru čísla tvárivosti (indexu plasticity) k procentnímu obsahu částic menších než 0,002 mm. Dnes se aktivita všeobecně uvádí ve zprávách o průzkumu, je však třeba opatrnosti při určení váhového podílu částic menších než 0,002 mm v zemině. Jeho určení není snadné a může být zkresleno. Q. Záruba – V. Mencl (1987) uvádí s odvoláním na Skempton (1948, 1953), že by se mělo při určování množství částic menších než 0,002 mm užívat postupů podle britské normy. A to proto, že se aktivita srovnává se zavedenými čísly této normy.

4.3.3 Rychlost konsolidace při stlačování jílovitých zemin

Některé úlohy stability, zvláště ty, kde se zvětšuje odpor zemních těles tím, že se svah přitíží, vyžadují, aby se studovala rychlost konsolidace podloží. Pak je třeba určit, za jakou dobu se konsolidací zmenší tlak vody v podloží, aby bylo možné do výpočtu stability zavést plnou smykovou pevnost zeminy. Uvážil-li se, že často je i přísyp situován na skloněném území, takže k ztrátě stability přispívá i sinová složka jeho tíhy, je patrné, že jde o nepříznivé podmínky. Proto se často konsolidace podloží urychluje tak, že se zřizují konsolidační pískové piloty nebo jiné gedrény. Pak konsolidace zpravidla proběhne během stavby. K prospěchu bývá i to, že propustnost zemin ve směru rovnoběžném s povrchem území je u svahových a sedimentárních zemin větší než ve svislém směru.

4.3.4 Přetvárné vlastnosti

Úlohy zbývající se statickým chováním svahů jsou staticky neurčitě. Proto je třeba znát k přesnějším řešením i deformační parametry.

Rozbor stability svahu má potom dvě cesty:

- a) Buď se napodobuje postupný vznik svahu, tj. jeho tvorba erozí, výkopem atp. Do řešení se zavádějí negativní síly jako důsledek odstranění částí profilu. Tento způsob je vhodný tam, kde odlehčujeme území výkopem nebo odkopem. Přitom známe výchozí mechanické vlastnosti horniny.
- b) Nebo se předpokládá, že v dnes již existujícím svahu jsou známé (změřené) zbytkové horizontální síly, které zde působí navíc oproti silám od tíhy, a pak zatěžujeme svah od zcela nezatíženého stavu jednak přirůstajícími silami od tíhy (včetně účinků podzemní vody), jednak přirůstajícími zbytkovými silami.

Deformace hornin má, jako u většiny pevných látek, pružnou a plastickou složku. Řešitel se musí rozhodnout, shrne-li obě složky do jedné nebo bude-li je řešit odděleně. V prvním případě použije tedy pseudoelastického řešení, tj. použije vztahu nauky o pružnosti, ale s proměnným přetvárným modulem. Ten se bude zvětšovat s všestranným tlakem a zmenšovat s intenzitou smykového namáhání. V druhém případě bude přetvárný modul v tlaku více méně konstantní (jen poroste s všestranným tlakovým namáháním), ale odděleně se bude vyvíjet ve smyku v rovinách největších zkosů. Tento přístup použil k sestavení programů pro řešení stability svahů Mejzlík (1984).

V obou případech je nutné získat co nejširší informace o chování horniny při vzrůstajících a zmenšujících se namáháních při všestranném tlaku, stejně jako při smykovém namáhání. U hornin z nichž lze odebírat vzorky, se tyto závislosti obdrží nejlépe z triaxiálních zkoušek (měření napětí vzorku zeminy vystaveného svislému zatížení ve třech hlavních osách).

4.3.5 Smyková pevnost

Při otázkách stability svahů se věnuje pozornost:

- a) Pevnosti jílu při různých normálových napětích. Pata svahu je velmi namáhaná a je zde jen malý lokální součinitel bezpečnosti. Tlaková napětí ve směru kolmo k svahu jsou však malá. Je to ještě zdůrazněné tím, že tu často prosakuje podzemní voda směrem k líci svahu. Protože jde o část, o níž se svah opírá, je zde otázka pevnosti ve smyku velmi důležitá. Uplatňuje se tu ta skutečnost, že se podstatně zmenšuje soudržnost, a to se projevuje ohybem čáry pevnosti (v Mohrově znázornění) směrem vlevo dolů. Je to zjištěné i při znázornění v efektivních napětích a některé výsledky zkoušek to jasně naznačují. V územích, kde je mráz důležitým přírodním činitelem, jako např. ve střední Evropě, toto zmenšení pevnosti blízko počátku může zároveň sloužit k vystižení rozpadu struktury jílu mrazem. Existence tohoto jevu také vysvětluje, proč přítěžovací přísypy na svazích v jílech zvětšují stabilitu svahů mnohem účinněji, než by ukazovala běžně užívaná řešení.
- b) Dlouhodobá pevnost jílovitých zemin - některé neúspěchy při navrhování svahů za použití klasických nebo zlepšených klasických metod vedly k tomu, že se příčiny hledaly v nedokonalém určení pevnosti ve smyku. Dobrou záminku k tomu dávala otázka tzv. dlouhodobé pevnosti jílu. Je jisté, že při smykových namáháních blízkých se pevnosti, vykazují jíly (ale i jiné horniny) určité dotvarování. Q. Záruba – V. Mencl (1987) uvádí s odvoláním na Skempton a Hutchinsona (1969), že úbytek

pevnosti o 3,5 % je s každým logaritmickým cyklem času. Např. zkoušky trvající 10 hodin dají pevnost 96,5 %, 100 hodin 93 % a pevnost po 100 letech (což je pravděpodobná trvanlivost staveb) 86 %. Toto zmenšení musí být zabezpečeno v hodnotě součinitele bezpečnosti.

Výrazné dotvarování vykazují také zeminy a skalní horniny v oblasti vlečného chování. Otázka není zcela vyjasněná, lze však předpokládat, že zde velká přetvoření i při úrovni namáhání pod mezí pevnosti souvisí jednak s velkou tloušťkou přetvořující se smykové zóny, jednak se vzrůstem tlaku vody v pórech. Ale druhý příklad už není změnou v pevnosti, ale v namáháních a nelze jej při statických výpočtech zahrnovat do vlivu času na pevnost.

Pomalé dotvarování svahu při malé stabilitě může nastat i tak, že dojde k vývoji kluzové plochy. Podél ní se postupně zmenšuje smykový odpor, jak se zvětšuje přemístění. Při posunu asi 1 – 1,5 m se postupně zmenší odpor až na konečnou (reziduální) hodnotu.

- c) Relaxace smykového odporu je dalším důležitým činitelem při otázkách stability svahů. Opírá-li se sesouvající jílovité těleso o pevnou stěnu, přenesení na ni větší tlak, než by udávalo statické řešení s použitím smykové pevnosti zeminy. Q. Záruba – V. Mencl (1987) uvádí s odvoláním na Mencla a Trávníčka (1974), že je třeba vyšetřovat tlak na stěnu tak, že zmenšíme pevnost jílu o 30 % proti klasické pevnosti.