

2. Гелoшке основе и геотехничке подлоге за санацију клизишта

2.1. Увод

Истраживања клизишта се могу подијелити на:

- **Регионална истраживања нестабилних терена** најчешће се изводе за подручја различитих административно-политичких заједница при чему резултати истраживања служе као једна од подлога за просторно планирање.
- **Детаљна истраживања појединих клизишта** изводе се унутар истражног простора који је одређен условима настанка и развоја конкретног клизишта и условима његове санације.

Основни циљ регионалних истраживања је утврђивање утицаја клизишта на услове развоја одређеног подручја. Клизишта су једно од битних ограничења за коришћење простора. Задаци ових истраживања су утврђивање регионалних својстава геолошке средине и других карактеристика подручја релевантних за равој егзодинамичких процеса: геолошка грађа и неотектонска активност, хидрогеолошке карактеристике терена, клима и хидрологија. Ту спада и регистровање појава нестабилности разврстаних по типу, величини и активности.

Егзогени процеси су изазвани су дејством спољашњих чинилаца атмосфере и хидросфере на стијену. У егзогене процесе спадају: распадање, денудација, ерозија, абразија, замочварење и заблаћивање, мехначка суфозија, хемијска суфозија (карстификација), клижење, течење, осипање, одроњавање, пужење и ликвефакција.

Методe анализе: анализа све релевантне геолошке грађе о подручју, анализа података о претходној активности, анкета становништва, регистровање оштећења на тлу и објектима, анализа и интерпретација сателитских и авиоснимака терена, рекогносцирање и на појединим локацијама и картирање терена.

Приказ резултата:

- карте рејонизације терена у погледу стабилности
- катастар нестабилних појава
- база података о нестабилности терена
- карте хазарда и ризика од клизања терена

Хазард појаве клизишта указује на потенцијалну магнитуду (запремина, површина клизишта, брзина) и вјероватноћу активирања клизишта.

Ризик од појаве клизишта се односи на могуће последице по материјалне вриједности које могу бити угрожене.

2.2. Методологија детаљних истраживања клизишта

Најчешћи циљ детаљних истраживања клизишта је утврђивање оптималног начина његове санације. Задаци истраживања:

- сакупити податке о морфологији падине и нестабилног подручја

- детаљано проучити геолошку грађу терена ради утврђивања услова настанка клизишта
- утврдити све природне и антропогене процесе који могу утицати на промјену равнотеже клизног тијела ради дефинисања узрока и услова повремених активирања клизишта.
- За анализу стабилности, утврдити положај и облик клизне површине, чврстоћу на смицање дуж ње и порни притисак који влада у њој.
- Утврдити физичко-механичка својства тла/стијене у тијелу и подлози клизишта
- стање подземних вода и хидрогеолошке услове ширег подручја ради оцјене услова прихрањивања подземних вода у тијело клизишта односно услова њиховог дренажања.

Анализа расположивих података о терену и процесу клизања служи преваходно за припрему пројекта детаљних геотехничких истраживања. Распоживи подаци могу обухватити: сву геолошку документацију о терену, пројектну документацију објеката са евентуалним оштећењима, историјске и друге записе о активности клизишта.

Морфологија

Потребно је геодетски снимити терен ако подлоге не постоје. Уколико постоји геодетски снимак прије појаве клизишта треба га повезати са снимком клизишта.

Осим ситуације треба снимити најмање два или више пресека падине који обухватају довољан потез терена изнад подручја клизишта и испод њега. Обавезна је израда фотодокументације.

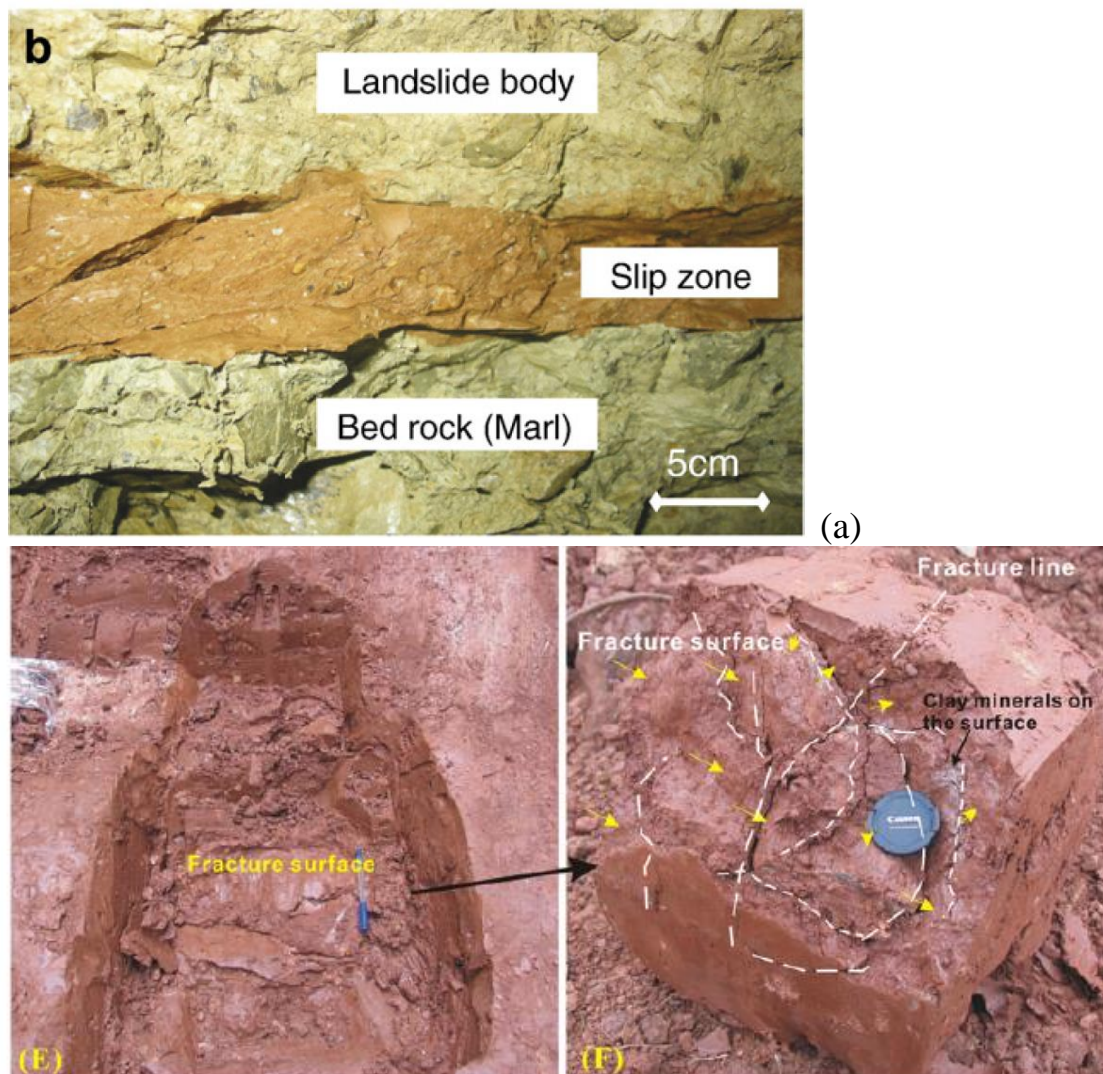
За прелиминарне студије већих клизишта или већих предјела врло су корисни стереопарови авионских снимака терена - аерофотографије (размјера 1:10000 – 1:5000). То су два снимка исте области али из различитих углова којима се истичу детаљи који се теже виде прегледом самог терена.

2.3.1. Одређивање положаја клизне равни

Клизна равна – клизна зона (енгл. *slip zone*) је зона у тлу дебљине од 5цм до 2м гдје је дошло до концентracије смичућих деформација. За анализу стабилности и санацију клизишта од кључног је значаја одредити положај клизне равни. Овај положај се може одредити на основу геолошких истражних радова, геофизичких испитивања, мјерења помјерања репера на површини терена и мјерења помјерања по дубини клизишта помоћу инклинометара.

Истражно бушење је рад који се изводи готово при сваком детаљном истраживању клизишта. Пошто често није могуће распознати положај клизне равни на узорцима који су добијени из сондажних бушотина, изводе се окна и поткопи на челу и у боковима клизишта. Ови радови омогућавају добијање података највећег могућег степена поузданости. Они пружају могућност директног увида у масе тијела и подлоге клизишта као и тачно лоцирање једне или више клизних површина, мјерење њихове оријентације, мјерење дотока воде. Ови радови омогућавају и узимање непоремећених оријентисаних узорака са клизном површином на којима се може у лабораторији испитивати смицање дуж

клизне површине. Велика предност истражних ископа да у корелацији са њима сви други истражни радови пружају поузданије податке.

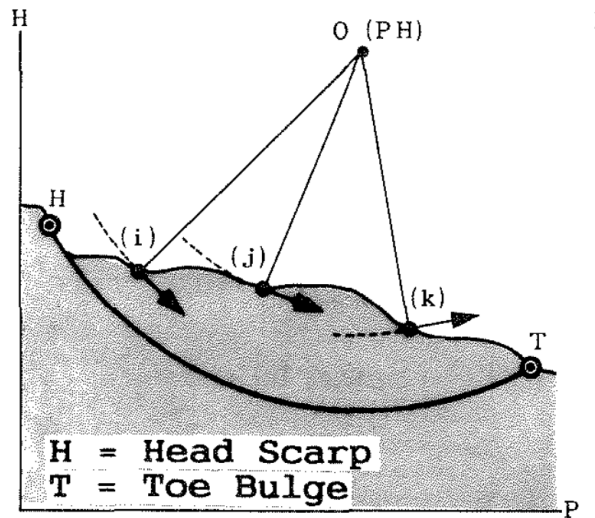


Слика 2.1: Клизна зона на контакту лапорца и клизног тијела (а), у истражном раскопу у глини клизна зона је издвојена на основу концентracије пукотина.

Дубина клизне површи се некада може одредити из геолошких података као нпр. површински слој мање чврстоће лежи на чврстој подлози паралелној са косином, или када се утврди присуство континуираног прослојка мале чврстоће. Такође промјене у влажности, граници течења, изгледу (углачаност, концентracија пукотина), микроструктури, електричном отпору и другим параметрима могу указати на присуство клизне зоне.

Утврђивање вјероватног облика и положаја клизне површине могуће је извршити из вектора помјерања репера на површини терена. Ако се нормале на векторе помјерања сијечу у уском подручју онда се највјероватније ради о кружној клизној површини. Радијус кружнице одређује тако да кружница пролази кроз

чеони ожилјак и кроз доњу ивицу клизишта при чему јој је центар у области гдје се сјечу нормале на векторе.



Слика 2.2: Реконструкција положаја клизне површине из вектора помјерања репера на падини

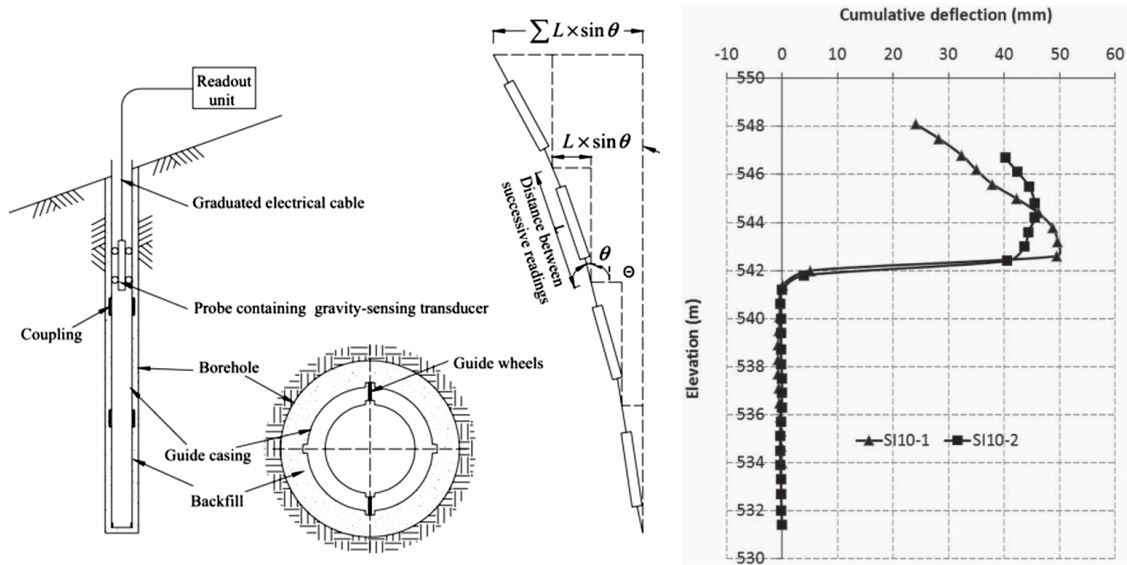
Инклинометар је уређај који служи за мјерење деформација дуж осе цијеви спуштањем индикатора дуж цијеви и мјерењем инклинације индикатора у односу на правац гравитације. Помоћу уграђеног инклинометра се могу мјерити:

- локација клизне равни
- брзина помјерања
- тип помјерања (ротација, транслација)
- величина и правац помјерања (мјерења у два међусоно управна правца)

Инклинометар се састоји из цијеви, индикатора, контролног кабла и јединице за читавање резултата. Предност је што се могу без проблема уграђивати до дубина које задовољавају у потенцијално најдубља клизишта. Због могућег оштећења-блокаде инклинометра након већег помјерања, пожељно је да се уграђују у клизишта са релативно спорим кретањем масе. Ако је брина клизања већа онда ће моћи инклинометар да се користи релативно кратко вријеме – практично само за регистрацију клизне површине.



Слика 2.3: Дјелови инклинометра и приказ цијеви и индикатора (1)



Слика 2.4: Принцип мјерења помјерања инклиометром

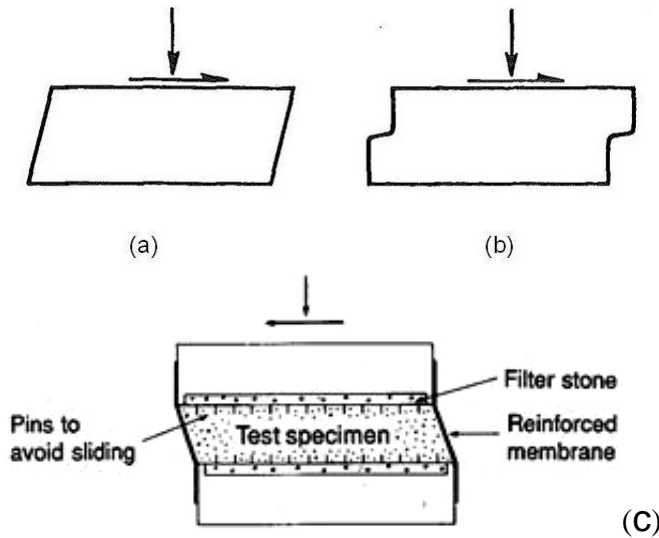
Геофизичка испитивања

Највише се примјењују геоелектричне и сеизмичке методе.

Поузданост података добијених овим испитивањима условљена је степеном разлике физичких својстава појединих дјелова стијенске масе. Поузданост расте уз услов њихове пажљиве корелације са резултатима других истражних радова, нарочито истражних бушотина и раскопа. Предност је брзо добијање података уз релативно мале трошкове испитивања.

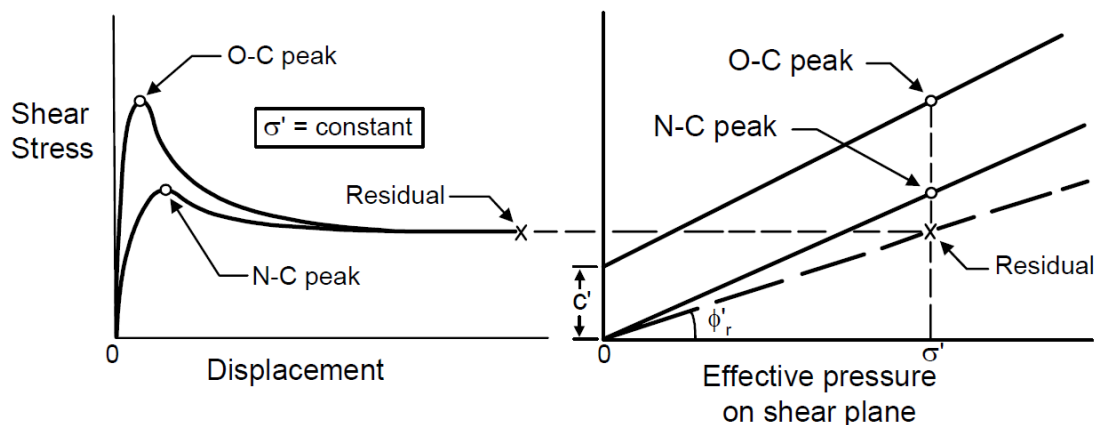
2.3.2. Испитивање смичуће чврстоће

Након утврђивања положаја клизне равни неопходно је за анализу стабилности утврдити параметре смичуће отпорности материјала у клизној зони. При избору метода за издвајање репрезентативних узорака из клизне равни предност се даје ручно издвојеним орјентисаним узорцима из истражних раскопа, бунара и поткопа јер је истражним бушењем тешко издвојити репрезентативни узорак из клизне зоне. Чврстоћа на смицање се у лабораторији мјери: уређајем за директно смицање, уређајем за чисто смицање (*simple shear*), коришћењем триаксијалног апарата и смицањем у прстенастом апарату (*ring shear*). Напони којима се узорак излаже треба да одговарају ефективним напонима *in situ* да би се довео у стање које је што сличније стању у којем је био у терену. То је реконсолидација узорка прије теста. Брзине испитивања треба да одговарају дренажним условима – спори тест (0,003 до 0,01 мм/мин). У уређају за директно смицање врши се смицање по већ дефинисаној смичућој равни (слика 2.5б). Стање напона и деформација није хомогено. У уређају за чисто смицање узорак је обавијен армираном гуменом мембраном која спречава бочно ширење али дозвољава слегање и смичућу деформацију (слика 2.5, ц,а). Пошто је стање напона релативно хомогено, овај уређај се може користити за испитивање меких и осјетљивих глина.



Слика 2.5: Разлика у пољу деформација у (а) апарату за чисто смицање, (б) апарату за директно смицање. Принцип смицања узорка у апарату за чисто смицање (ц)

Одговор материјала на смицање може бити крт (*brittle*) када са порастом смичућих деформација смичућа чврстоћа достиже вршну чврстоћу (*peak*, τ_p) а затим материјал омекшава (*strain softening*) са падом чврстоће до константне вриједности чврстоће при великим деформацијама – резидуална чврстоћа (*residual*, τ_r). Овакво понашање је типично за преконсолидоване глине и збијене пјескове. Супротно наведеном понашању је понашање дуктилног материјала (*non-brittle*) гдје након достизања вршне чврстоће она остаје константна при даљем деформисању.

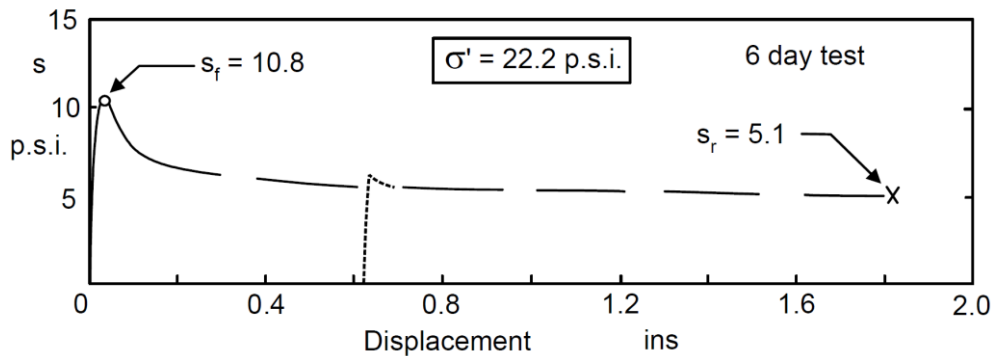


Слика 2.6: Вршна и резидуална чврстоћа преконсолидоване и нормално консолидоване глине

Чврстоћа на смицање постојећих старих клизних површина је чврстоћа на смицање након великих деформација – резидуална чврстоћа. Ова чврстоћа се може одредити у лабораторији реверзним опитом директног смицања или смицањем у прстенастом апарату. У случајевима када није могуће добијање непоремећених узорака из клизне површине, **повратна анализа** представља једино ефикасно средство за одређивање резидуалне чврстоће тла. Резидуални

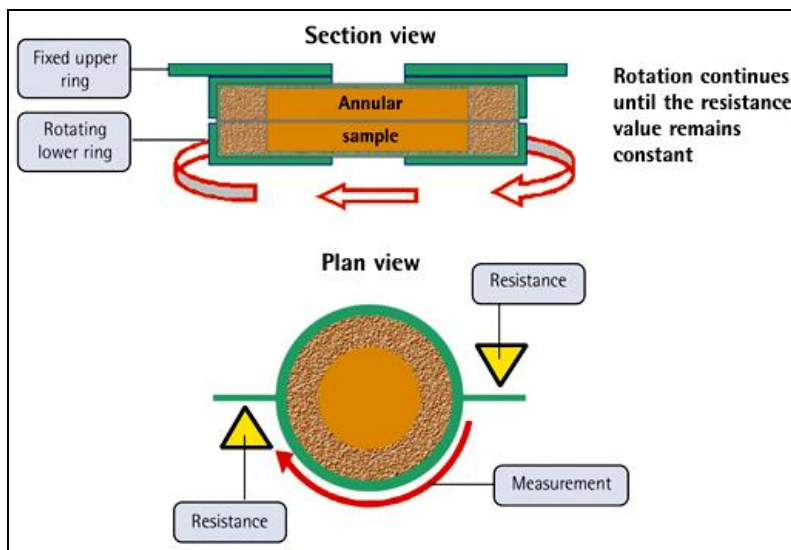
угао смичуће отпорности ϕ_r се добија из услова да је у реактивираним старом клизишту фактор сигурности једнак 1.

Реверзни опит смицања. Узорак се може пресјећи танком затегнутом жицом по равни смицања, а затим ручно помјерати напријед-назад како би се поспјешило процес реорјентације зрна у равни лома. Након достизања смичућих помјерања не већих од 10% смицане дужине (обично 5мм), смицање се зауставља, оквири се враћају полако у почетну позицију након чега слиједи следећи циклус. Овај поступак се понавља све док након пар поновљених циклуса смичућа чврстоћа даље не опада.



Слика 2.7: Директно смицање – повратни или реверзни опит

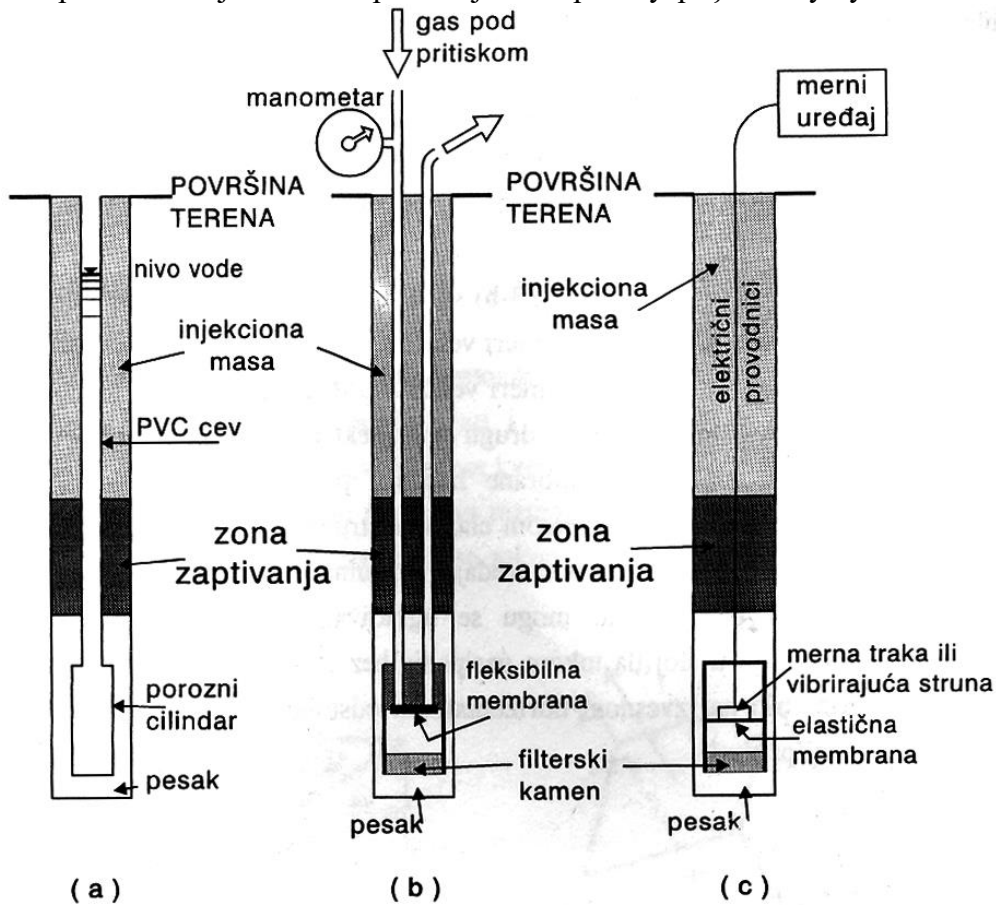
Опит смицања у прстенастом апарату. Овај уређај омогућава неограничена смичућа помјерања. Недостатак је што се могу испитивати само прерађени (*remoulded*) а не и непоремећени узорци тла. Ипак, пошто резидуална чврстоћа зависи само од минералне композиције а не од почетне структуре или збијености тла, коректни параметри се могу добити и на поремећеним, односно прерађеним узорцима. Доњи дио узорка се може ротирати промјењивом брзином док се момент торзије пренесен на горњи дио узорка прихвата и мјери коришћењем пара мјерних прстенова (*load measuring ring*) или мјерача силе (*load cells*)



Слика 2.8: Принцип рада уређаја за смицање у прстенастом апарату

2.3.3. Хидрогеолошки услови – подземна вода

Висина и режим тока подземне воде се истражују преко правилно распоређених **пиезометара** (отворени и затворени). Приликом извођења истражних радова, током бушења у тлу, врши се регистровање нивоа подземне воде. Овако добијени подаци не морају бити сасвим поуздани, нарочито у случају мало пропусног тла, у случају да се користи бентонитска исплака у току бушења и у околностима могућих појава осцилација нивоа у току времена. Мјерење нивоа подземне воде и порних притисака најчешће се врши пиезометрима уграђеним у бушотине.



Слика 2.9: Типови пиезометара а) отвореног типа, б) пнеуматски , ц) електрични

У засићеном тлу релативно велике водопропустљивости порни притисци се могу мјерити отвореним пиезометрима, мјерењем нивоа воде у цијеви уграђеној у бушотину (слика 2.9а). Доњи крај PVC или металне цијеви је перфориран. Око доњег краја цијеви се уграђује пијесак/ситан шљунак. Зона око доњег дијела цијеви гдје се мјери порни притисак изолује се глином, малтером или ињекционом масом. Врх цијеви мора бити приступачан и затворен поклопцем. Пречник цијеви треба да је што мањи како би минималан доток воде у пиезометар био довољан да одрази промјену пиезометарске висине. Уколико је цијев превеликог пречника, водопрпусност тла у подручју гдје је уграђен порозни елемент има значајан утицај на поузданост мјерења нивоа воде услед кашњења промјена нивоа воде у пиезометарској цијеви у односу на пиезометарски ниво у околном тлу.

Уколико тло има релативно малу водопропусност у подручју мјерења, временско кашњење може бити значајно. У материјалу мале водопропусности пијезометар би требао да реагује релативно брзо без већег дотока воде у пијезометар. Због тога се примјењују пијезометри са затвореним хидрауличким системом који на промјену пијезометарског притиска реагују са минималном промјеном запремине и због тога без значајног кашњења (пнеуматски и електрични пијезометар, слика 2.9 б,ц).

Пнеуматски пијезометар се састоји од двије цијеве (слика 2.9б).При мјерењу се на једном крају цијеве наноси притисак гаса и мјери величина притиска потребна да отвори вентил изложен порном притиску. При томе се измјери величина притиска у моменту наглог пада притиска гаса који на површину излази кроз другу цијев. Електричним пијезометрима се мјери деформација баждарене еластичне мембране изложене притиску воде (слика 2.9ц). Деформација се претвара у сигнал примјеном еластичне струне, мјерне траке или мјерењима промјене еластичног отпора у мјерном уређају.

У геотехничким истраживањима која обухватају осматрања падина и клизишта, пијезометри се могу сматрати неизбјежно потребним јер од величине и расподјеле порних притисака зависи стабилност земљаних маса.