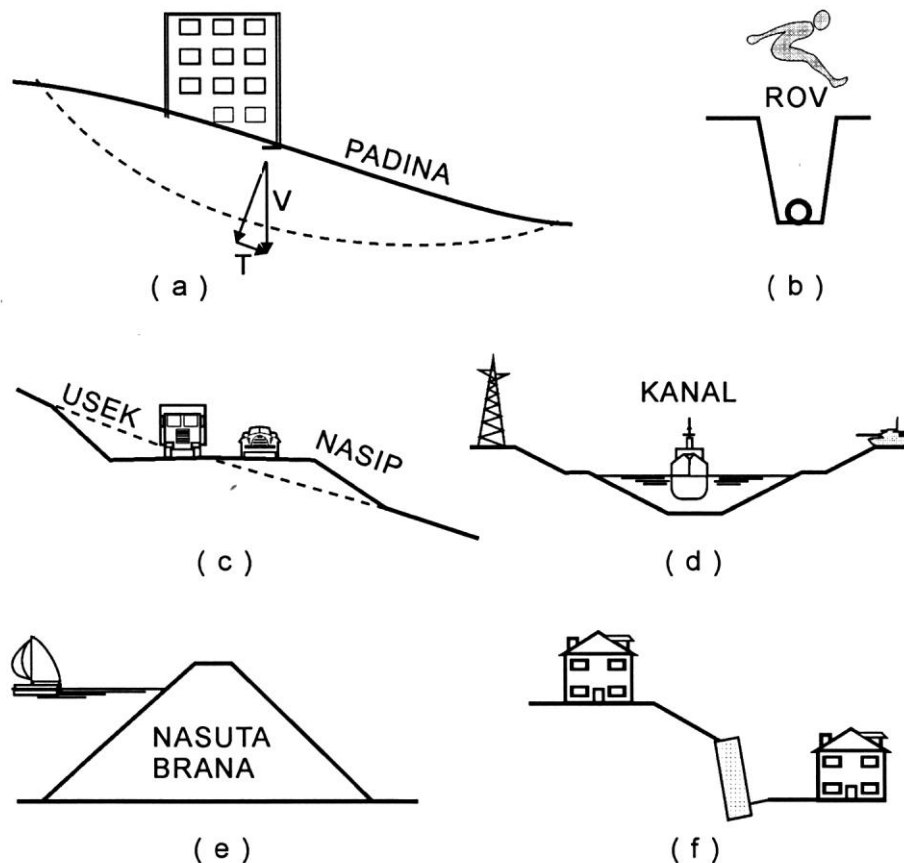


ПОГЛАВЉЕ 1

1.1. Увод

Када површина терена није хоризонтална појављује се компонента силе гравитације која има тенденцију да помјери масу тла наниже како је илустровано на слици 1.1-а. Ако се дуж потенцијалне клизне површи појаве напони смицања који су једнаки смичућој чврстоћи, може доћи до смичућег лома тла и до великих помјерања масе тла изнад клизне површи, односно до рушења косине.

Проблематични услови стабилности косина природних падина могу имати изузетан утицај на услове грађења објеката свих врста (слика 1.1). Проблем нестабилности косина тла и стијена се појављује при грађењу на природним претходно стабилним падинама, или условно стабилним падинама које се називају клизиштима, у грађењу путева и железница, канала, хидротехничких насипа, насутих брана и ископа за темеље различитих објеката.



Слика 1.1. Проблеми стабилности косина код различитих објеката

Главни разлози за могуће појаве нестабилности или недовољне сигурности косина се могу свести на један или неколико од следећих узрока:

- Контуре земљаних маса су сувише стрме у односу на карактеристике материјала који је сачињавају или је материјал недовољне чврстоће те не може да се одржи у равнотежи при предвиђеној геометрији пресека.
- Порни притисци су велики, што има одлучујући утицај на стабилност масе тла.

СТАБИЛНОСТ КОСИНА И САНАЦИЈА КЛИЗИШТА

- На масу тла су дјеловали или ће дјеловати, неки неповољни спољни утицаји, као на примјер, велика спољна (саобраћајна) оптерећења, сеизмичке инерцијалне силе или оптерећење околних објеката.

1.2. Геолошки услови

Са геолошког становишта клизишта представљају један од савремених егзодинамичких процеса тј. процеса који дјелују на стијене литосфере мијењајући површински дио рељефа. Познавање геолошких и хидро-геолошких услова је веома важно за проучавање узрока нестабилности косине или њене потенцијалне нестабилности при извођењу грађевинских радова. Старост земље се процјењује на око 4.5 милијарди година. Историја земље је углавном на основу развоја живог свијета подијељена на неколико одељака (на ере, периоде, епохе, катове и поткатове). Проучавањем старости земље се бави историјска геологија или стратиграфија. У циљу разумијевања података из геолошких извјештаја на слици 1.2 је дата геолошка временска скала.

Геолошка доба фанерозоица					
Еон	Ере	Периоде	Епохе	Старост	
фанерозоик	кенозоик (Ново доба)	квартар Q	холоцен	65 Ma до данашњег дана	
			плеистоцен		
		неоген Ng	плиоцен		
			миоцен		
			олигоцен		
		палеоген Pg	еоцен		
			палеоцен		
			креда K		горња креда
		мезозоик (Средње доба)	јура J		доња креда
	малм				
	догер				
	тријас T		лијас		
			горњи		
			средњи		
	палеозоик (Старо доба)	перм	доњи	542 Ma – 251 Ma	
			горњи		
		карбон	доњи		
			горњи		
		девон	доњи		
			средњи		
			доњи		
			силур		
	ордовицијум				
	камбријум				

Слика 1.2. Геолошка временска скала

1.2.1. Постанак и подјела стијена

Стијене које настају очвршћавањем магматских растопа називају се **магматске стијене**. Оне се формирају на различитим нивоима, почев од најдубљих па све до површине земље. У **дубинске магматске** стијене спадају: гранити, сијенити, гранодиорити, габри и перидотити. **Површинске** или **изливне стијене** стваране су у површинској зони, или на самој површини Земље, најчешће из истих магматских растопа из којих су стваране и дубинске магматске стијене. Тако су **андезити** изливне стијене диоритских магми, **базалти** и **дијабази** су изливне стијене габро магми. Када су у свјежем стању дубинске и површинске магматске

стијене представљају одличну средину и подлогу за грађење. У супротном, потребно је процијенити испитивањима степен њихове распаднутости.

Стијене које настају таложењем транспортованог материјала – **седиментне стијене** јављају се у облику табличастих и плочастих маса – слојева који уз то често показују значајно хоризонтално простирање. Стварају се на површини или у површинској зони литосфере.

Седиментне стијене настају кроз четири фазе које се смјењују по следећем распореду:

- механичко (физичко) и хемијско распадање
- транспорт распаднутог материјала
- таложење и
- дијагенеза (очвршћавање)

Механичко распадање настаје усљед дејства: инсолације, површинске воде, мраза, корења биљака. Хемијско распадање настаје усљед дејства кисеоника, воде и киселина. Са напредовањем процеса распадања повећава се количина распаднутог материјала који се понекад може груписати на мјесту постанка или бива пренешен (транспортован) дејством гравитације, воде, вјетра или леда.

Таложење механичког детритуса (распаднутог материјала) се врши његовим издвајањем из одговарајућег транспортног средства када његова снага ношења опадне до одређеног степена.

У исталоженом механичком детритусу током времена може доћи до очвршћавања – дијагенезе. Овај процес обично се одвија збијањем под дејством притиска или слепљивањем појединих комада неким од природних везива (природни цемент) или пак стварањем нових минерала. Везивање – цементација је карактеристично за крупније механичке детритусе: дробину, шљунак и пијесак. Очвршћавање под дејством притиска је карактеристично за стијене са ситнијим механичким детритусом – глине и глиновите стијене као и за органогене стијене.

Према мјесту настанка седиментне стијене се могу подијелити на:

- елувијалне стијене - налазе се на мјесту распадања примарне стијене
- делувијалне стијене – седименти транспортовани на кратком растојању низ падине гравитацијом, малим млазовима кишнице и нагомилани у подножијима падина или њиховим прегибима.
- пролувијалне стијене – седименти транспортовани бујицама са виших дјелова планинских падина у њихово подножје, котлине или рјечне долине
- алувијални наноси су транспотовани ријекама а затим депоновани у рјечним долинама
- језерски (лакустрински) седименти настају таложењем у језерима
- еолски седименти
- леднички седименти
- марински седименти

Према начину постанка седиментне стијене дијеле се на: кластичне, хемијске и органске седименте.

Кластичне седиментне стијене се дијеле на:

- невезане: дробина, шљунак, пијесак, прашина/муљ
- полувезане: лес, лапор, глина
- везане: конгломерат, бреча, пешчар, глинац, лапорац

Појаве дробина су везане за падине брдских и планинских долина. Стабилност падина изграђених од дробине у природним условима обично је повољна. Нагиби падина блиски су углу унутрашњег трења наслага. Засијецањем и оптерећивањем стабилност се брзо нарушава због чега може доћи до одроњавања и клижења обично мањег обима.

Бреча је везана дробина неким од природних цемената. На косинама се често јавља осипање. Конгломерат је шљунак везан неким од природних цемената. Пешчар је пијесак везан неким од природних везива.

Лес су насlage прашине еолског поријекла које се нагомилавају у дебеле насlage ближе, или чак врло даље од мјеста настанка. Природно влажан лес пружа врло повољне услове за извођење грађевинских захвата на површини терена као и за подземне радове. Врло расквашен лес губи своја карактеристична својства.

Лапор је глина са повећаним садржајем калцијум карбоната (25 до 75% CaCO_3). Глинац настаје дијагенезом глина. Лапорац постаје дијагенезом лапора.

У органогене седименте спадају: кречњаци, доломити и рожнаци.

Вулкански туфови настају таложењем материјала који вулкан избаца при ерупцији. У њима се могу јавити клизишта како у самој маси туфова или насlage туфова могу клизити по водонепропусним стијенама.

Стијенски комплекс флиша представља специфичну појаву удруженог појављивања пјешчара, лапораца, глинаца, лапоровитих и пјесковитих кречњака, конгломерата, бреча и туфита, који се често и ритмички смјењују. На површинским дјеловима флишног комплекса услед распадања његових литолошких чланова често су присутне дебље насlage елувијално-делувијалне распадине пјесковито глиновитог састава, са честим олдомцима пјешчара, кречњака и конгломерата. Ова распадина подложна је расквашавању и клижењу, што представља карактеристику флишног комплекса. Честа је нестабилност падина при чему су терени са блажим нагибима падина најчешће неповољнији као подлога и средина за грађење.

Метаморфне стијене. Трећа група стијена настаје преображањем (метаморфозом) постојећих магматских и седиментних стијена под утицајем повећане температуре или притиска односно хемијским процесима. Оне могу настати у свим дјеловима литосфере.

Основна подјела метаморфних стијена заснива се на њиховим текстурама при чему се издвајају двије групе: кристаласти шкриљци и масивне метаморфне стијене. Главна карактеристика кристаластих шкриљаца је њихова општа **шкриљавост** тј. својство да се лако цијепају или љускају у танке плочице по равнима које су скоро паралелне. У шкриљце спадају: гнајс, микашист, аргилошист, филит. Микашист настаје метаморфозом глиновитих стијена и најраспрострањенија је метаморфна стијена. У микашистима су честа клизишта.

Масивне метаморфне стијене кварцит, мермер и амфиболит су повољна средине за грађење док се при засијецању серпентинита могу јавити проблеми са стабилношћу косина.

Категоризација према степену стабилности (Инжењерско-геолошка карта бивше Југославије):

- I. Терени стабилни у природним условима и при дјелатности људи. Састављени су од кречњака, доломита, мермера, свјежих магматских стијена, дебелих наслага леса и отпорних шкриљаца. Потенцијална нестабилност може бити неповољан положај слојева и пукотинских система, што се на вријеме може уочити и спријечити.
- II. Терени претежно стабилни у природним условима, али људске дјелатности могу у њима изазвати нестабилност. Литолошки, то су терени састављени од флишних седимената, флишоликих шкриљавих комплекса млађег палеозоика, пермских пјешчара и конгломерата, те дјелимично од ниско кристалиничних и кристаластих шкриљаца.
- III. Терени нестабилни у природним условима и при људској дјелатности. Састоје се од неогених седимената, глина, лапоровитих глина, лапора, пијеска и шљунка, вулканогених седимената и комплекса стијена хетерогеног састава. У њима су веома развијени савремени геолошки процеси ерозије, солифлукције и клижења падина већ у природним условима.

1.3. Клизишта

На природним падинама као и на вјештачким косинама (насипа, усјека, засјека ископа и депонија) под одређеним условима може настати откидање и помјерање помјерање дјелова откинутих маса услед дејства земљине теже. Овај процес назива се **клижење**, а дио терена захваћен клижењем назива се **клизиште** (енгл. *landslide*).

Кретање откинуте масе се врши по стабилној подлози без одвајања од ње по јасно испољеној **површини клижења** или **зони клижења**. Најчешће је то зона клижења дебљине неколико цм до неколико десетина цм. У почетној фази цјелокупна маса се креће више или мање као једна цјелина. Касније најчешће долази до секундарних откидања и појединачних кретања дјелова откинуте масе који се могу кретати неједнаком брзином и у различитим правцима. У нижим дјеловима може доћи и до превртања појединих дјелова масе око свог тежишта.

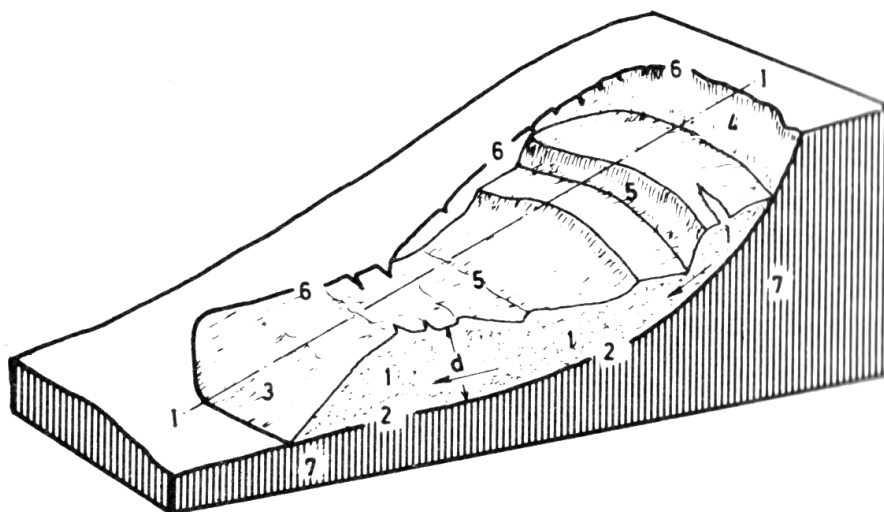
1.3.1. Елементи клизишта

Основни елементи клизишта су приказани на слици 1.3.

Тијело клизишта представља цјелокупна откинута и покренута стијенска маса.

Површина клижења или **клизна површина** је гранична површина између покренуте масе и њене подлоге која се не креће.

Површина клизишта дефинише површински дио покренуте масе. Може бити мала (100m^2), до врло велика (преко 25000m^2)



Слика 1.3. Слика 1.2. Елементи клизишта: 1) тијело клизишта, 2) клизна површина, 3) ножица (стопа), 4) чеони ожилјак, 6) граница, 7) подлога, I-I Осовина, d – дебљина.

Ножица или стопа клизишта је најнижи дио тијела клизишта.

Чеони ожилјак клизишта представља највиша, обично лучно повијена, пукотина која је формирана откидањем тијела клизишта од дјелова терена изнда њега који нису захваћени процесом клижења.

Секундарни ожилјци су пукотине дуж којих је дошло но накнадног (секундарног) откидања покренуте масе.

Осовина клизишта је линија која подужно полови површину клизишта.

Границу клизишта чини линија контакта кретане масе са некретаним дјеловима терена, на површини терена.

Дужина клизишта је растојање између најудаљенијих тачака на ожилјку и ножици клизишта.

Дебљина клизишта је управно растојање између површине и подлоге клизишта.

Кретање и деформације нагнутих површина терена могу се сврстати у двије групе:

- **пужење**, односи се на полагање кретање слоја паралелно са површином падине веома малом брзином. У слоју одређене дубине настају пластичне деформације при напонима који су мањи од чврстоће на смицање.
- **клижење**, односи се на кретање масе тла или стијене низ падину услед слома материјала на смицање дуж граничне површи покренутог материјала. Брзина кретања је при томе велика до врло велика.

Терцаги сматра пужењењем кретање површине терена брзином мањом од 30cm годишње док је већа брзина карактеристика клизишта.

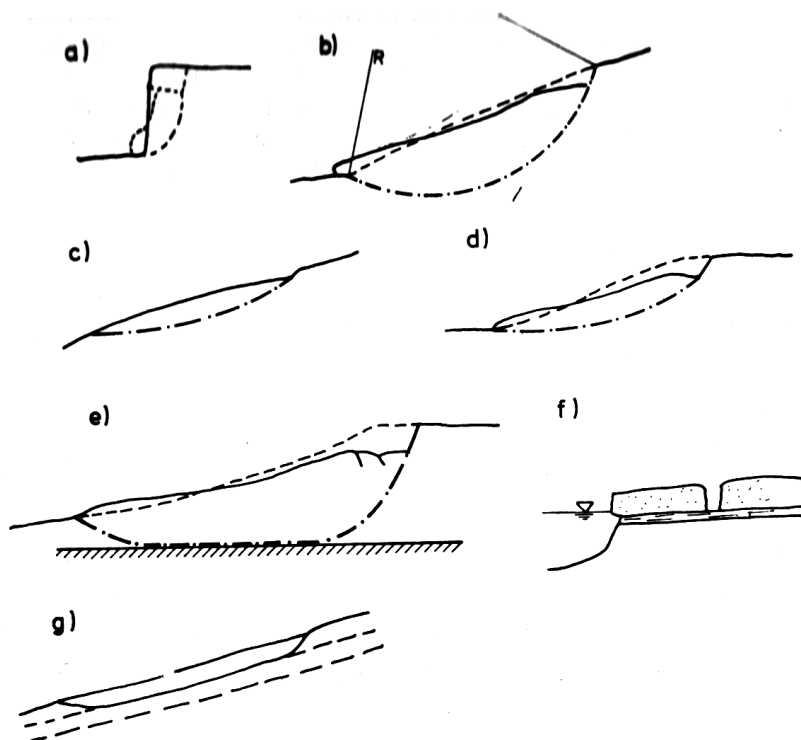
1.3.2. Облици клижења

Одрони

Настају на врло стрмим или усправним косинама у стјеновитом или кохерентном материјалу као последица поткопавања стопе, повећања висине косине вјештачким материјалом или природном ерозијом. Непосредан повод одрону често је оборинска вода која изазива хоризонталну компоненту силе. Почетне деформације могу трајати дуже времена, а сам одрон настаје великом брзином.

Ротацијско клизиште

Настаје претежно у хомогеним глиновитим косинама. На горњем крају клижења појављују се пукотине и слијегање, а на његовој стопи материјал се издиже и прегњечује. Због прегњечивања појављују се у материјалу стопе клизишта велике деформације и растресање материјала који може даље услед дејства падавина претворен у блатне токове. Однос L/D обично је у границама $6/1$ до $3/1$. Овај тип клижења сусреће се и у неким стјеновитим јако распуцалим косинама од деградиране стијене, али и у косинама од некохерентног материјала. Површина клизања може бити кружно цилиндрична, облика логаритамске спирале, циклоиде или издужене криве.



Слика 1.4. Основни типови клижења: а) одрон, б) ротацијско клижење, в) плитко ротацијско клижење, д) ротацијско клижење на конкавној површине општег облика, е) клижење по сложеној површини, ф) транслаторно клижење блокова, г) транслаторно клижење глиновите плоче.

Транслаторно клижење

Овај тип клижења се јавља када у косини влада дисконтинуитет својстава материјала у мањој дубини приближно паралелно са њезином површином. Материјал клизи по тој равни планарно, без велике дисторзије. Ова појава је честа у стјеновитом материјалу кад банковити

слој мале дебљине лежи на слоју мале чврстоће на смицање. На доњем крају се као последица дјеловања хидростатичког надпритиска у усправним пукотинама постепено размичу блокови и кретање се тако наставља низ косину. Транслаторна клизишта се јављају и у глиновитим материјалима кад они садрже прослојке масније глине мање отпорности или пропуснијег материјала. Настају типично у испуцалој преконсолидованој глини.

Сложено клижење

Када материјал у косини није хомоген, него услојен као на слици 1.4е, површина клизања се може састојати од више закривљених и равних дјелова. Кретање по таквој површи узрокује велике унутрашње деформације масе, посебно на прелазима између ротацијске и транслацијске зоне.

Токови су слабо дефинисани облици и могу се сврстати у двије врсте:

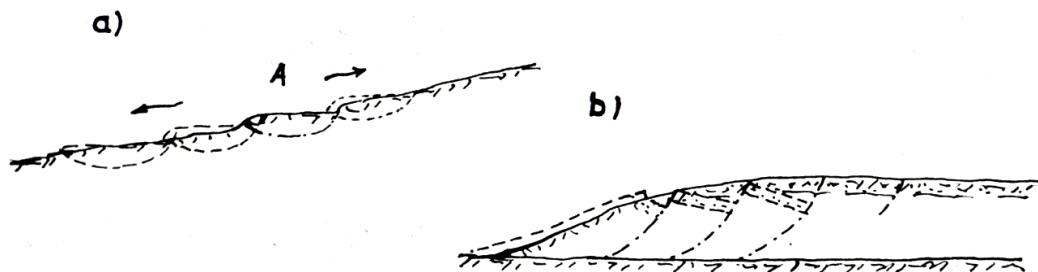
- **Земљани ток** настаје на крају ротацијских клижења, посебно на површини општег облика, као и сложених клижења, гдје прегњечени материјал лако прима воду (падавине, дренарање из масе). Однос L/D је 50.

Блатни ток може бити на падинама од испуцале глине и гдје се глиновита осулинска маса засити водом, а типично су издужени (L/D 10). Чести су у Скандинавији и Канади у глинама велике осјетљивости на поремећавање, гдје наступају у катастрофалним размјерама.

Вишеструка и комплексна клизишта

Зависно од морфологије, састава тла, локалним условима и узроку поремећаја равнотеже могу настати у бројним варијантама од којих се издвајају двије:

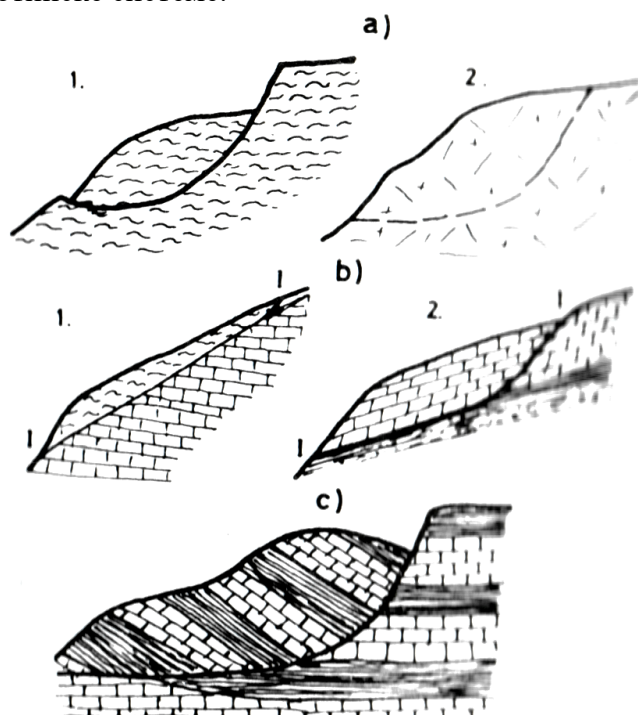
- **Узастопна клижења уз падину или низ њу** састављена су од више плитких ротацијских клижења. Настају тако што прво клижење узрокује ширење нестабилности уз падину одузимањем ослонца горњем дијелу, или низ падину, оптерећујући склизнутим материјалом нјезин доњи дио. Сусрећу се на релативно плитким глиновитим седиментима.
- **Вишеструка ретрогресивна клизишта** почињу са стопе падине првим ротацијским или сложеним помјерањем који смањује стабилност горњег дијела, па се постепено нова клижења сличног типа пропагирају уз косину. Коначно се то може претворити у јединствено транслацијско клизиште великих размјера.



Слика 1.5. Вишеструка и комплексна клизишта

Образовање клизишта проузрокује промјене рељефа, унутрашње грађе падине или њене косине. Природа и обим тих промјена условљени су геолошком грађом падине или косине, положајем и обликом површине терена или клизне површи. Сагласно наведеном клизишта се могу подијелити на:

- **асеквентна клизишта** настају унутар једнородне (хомогене) неслојевите стијенске масе (тла). Клизна површина је приближно кружно-цилиндрична и условљена је физичко-механичким карактеристикама стијенске масе (тла).
- **консеквентна клизишта** настају у хетерогеним стијенским масама, а клизна површина је највећим дијелом формирана по граници између два сусједна слоја. То може бити граница између два сусједна слоја исте стијене, коре распадања и здраве стијене, површина испуцалости, замрзнуте и незамрзнуте зоне. Облик клизне површине је раван, таласаст или степенаст. Консеквентна клизишта су најзаступљенија у односу на остале двије групе. Зову се консеквентна јер прате природне површине.
- **Инсеквентна клизишта** су она код којих клизна површина сијече природне површине тј. слојеве и пукотинске системе.



Слика 1.6. Карактеристични типови грађе (структуре) клизишта
а) асеквентна: 1 – у глиновитом материјалу, 2 – у испуцалим чврстим стијенским масама
б) консеквентна: 1 – делувијум по нераспадној основи, 2 – у косо услојеним стијенским масама, в) инсеквентна

Према развоју процеса клижења клизишта се дијеле на:

- Неактивна-смирена или фосилна
- Активна

Код неактивних клизишта процес клижења је завршен и у садашњем стању не постоји кретање дјелова стијенске масе. Код активних клизишта процес клижења је у току.

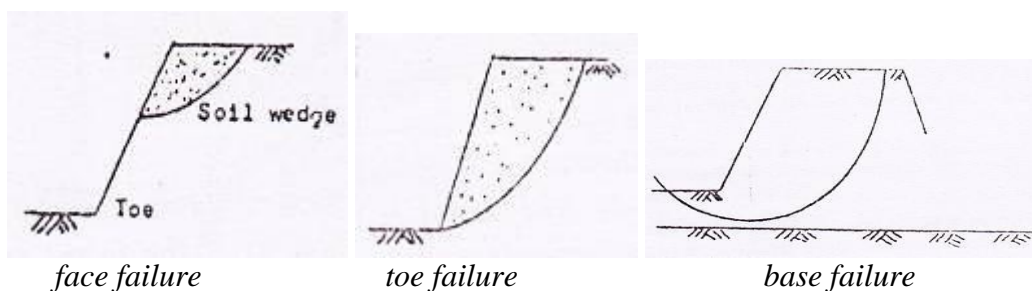
Према положају клизне површине у односу на подножје косине клизишта се дијеле на:

- ножична
- подножична

Код ножичног клизишта ни једна тачка клизне површине не налази се испод хипсометријски најниже тачке на ножици, док се код подножичног клизишта део клизне површине налази испод хипсометријски најниже тачке на површини ножице.

Слично, код ротационог клижења разликујемо три начина појављивања клизне површи:

- локално шкољкање – слом тла изнад ножице (енгл. *face failure*)
- ножично клижење (енгл. *toe failure*)
- подножично клижење (енгл. *base failure*) се јавља када је подлога на којој лежи насип мекша и пластичнија него тло у насипу и када се на одређеној дубини налази чврста подлога.



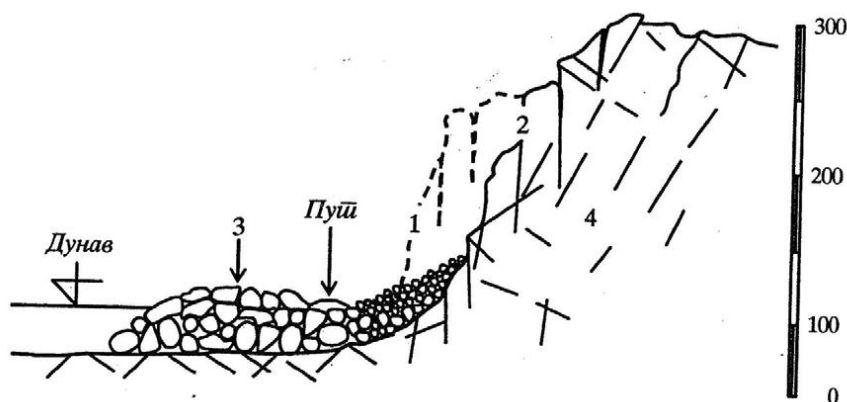
Слика 1.7. Положаји клизне површине

Према дубини клизне површине разликују се:

- површинска клизишта са клизном површином плићом од 1м
- плитка клизишта $d=1\text{м}-5\text{м}$
- дубока клизишта $d=5\text{м}-20\text{м}$
- веома дубока клизишта $d > 20\text{м}$

1.4. Одроњавање

Одроњавање је откидање и нагло слободно падање комада и блокова стијенских маса са стрмих и врло стрмих природних и вјештачких падина под дејством гравитације. Скупине комада и блокова стијенских маса формиране у подножју стрмих одсјека називају се **одрони** (енгл. *rockfall*). Појаве одроњавања су везане за стијенске масе са дисконтинуитетима нагнутих према спољњим површинама косине. Међутим, одрони се могу јавити и у лесу (који је континуалан) пр подлокавању или подсецању стрмих одсјека формираних у овом седименту.



Слика 1.8. Шематски приказ одрона: 1) профил косине прије одроњавања, 2) профил падине након одроњавања, 3) тијело одрона, 4) испуцали, банковити до масивни кречњаци

1.5. Осипање

Појединачно, или групно котрљање механички издијељених комада чврстих стијенских маса по стрмим падинама назива се осипање, а скупине скотрљаних комада које формирају у поножју падине називају се **сипари** (енгл. *talus, scree*). Називају их другачије и **осулине** или **плазине**. Основни узроци формирања сипара су: инсолација, притисци ствоени при смрзавању и разарање стијена притисцима које изазива корење биљака. За формирање сипара најповољнији морфолошки, геолошки и климатски услови остварени су у кречњачким теренима. Због тога су сипари карактеристичне појаве кречњачких терена. Код **активних сипара** врши се непрекидно или повремено нагомилавање материјала у површинској зони сипара због чега је њихова површинска зона промјењива. Код смиренних сипара нема нагомилавања новог материјала, али је активан процес заглињавања који временом може превести осипање у клижење. Површина терена под смиреним сипарима најчешће је дјелимично, или потпуно, прекривена шибљем или сличном вегетацијом. Сипари су неповољна подлога и средина за грађење, а нарочито саобраћајница и других линијских објеката (нафтоводи, гасоводи, водоводи). У неким случајевима тешкоће око извођења радова могу бити такве да се траса линијских грађевина измјешта изван сипара или се прелаз преко њих врши мостовима.