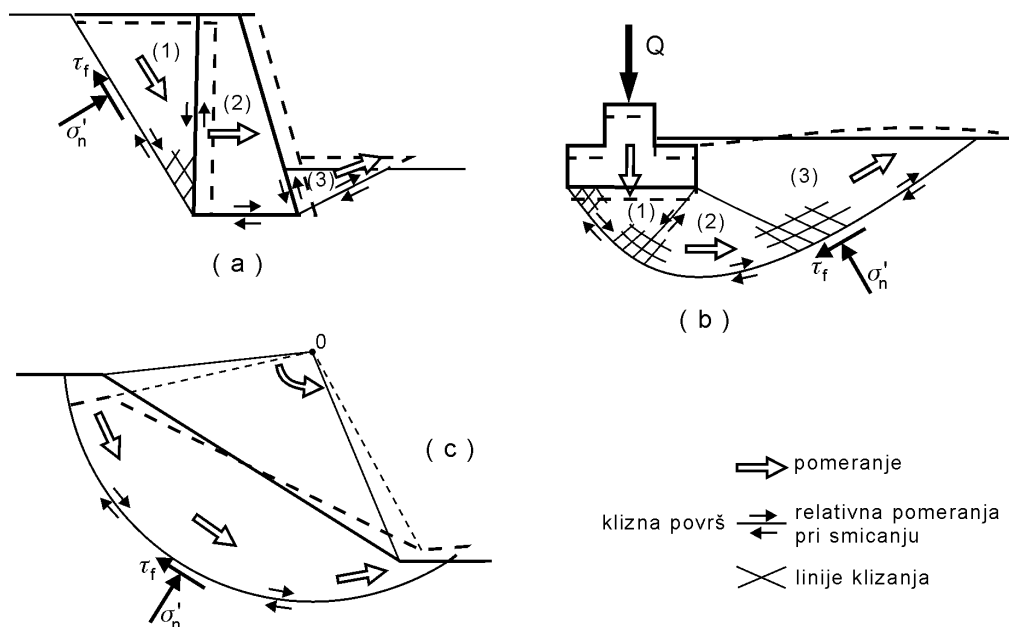


Poglavlje 6

ZEMLANI PRITISCI.POTPORNI ZIDOVI

6.1 UVOD

U prethodnom poglavlju opisana je primena deformacijskih parametara u proračunima sleganja plitkih temelja i pri tome se, radi određivanja veličina komponentalnih napona, najčešće pretpostavljalo da se tlo može aproksimirati elastičnom sredinom. Takva pretpostavka implicitno znači da je svako izračunato naponsko stanje moguće. Nije se vodilo računa o čvrstoći materijala, iako je o smičućoj čvrstoći bilo govora, kao o jednoj od najvažnijih osobina tla, u Poglavlju 5.



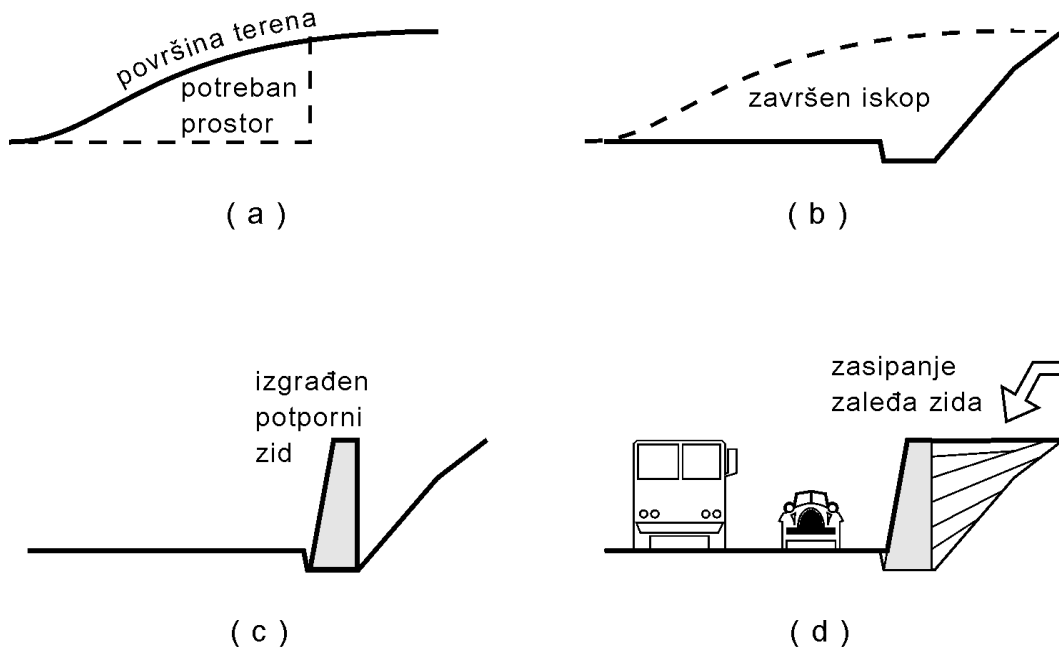
Slika 6.1. Neki karakteristični mehanizmi loma mase tla

Tipični primeri, u kojima je najvažnija karakteristika tla smičuća čvrstoća tla su analiza gravitacionih potpornih konstrukcija (Slika 6.1-a), nosivost temelja (Sl. 6.1-b) i stabilnosti kosina (Sl. 6.1-c). Veoma značajno je praktično pitanje do koje veličine kontaktnog napona se može opteretiti tlo prema Slici 6.1-b, a da se pri tome ne izazove prolom temeljnog tla. U svakom konkretnom slučaju opterećenje treba da bude manje od takvog graničnog opterećenja pri kome nastaju velike distorzijske deformacije tla i nekontrolisano velika sleganja, primenom nekog faktora sigurnosti. Ovo je samo jedan praktičan zadatak koji spada u šire područje problematike stabilnosti mase tla.

Standardne metode u geotehnici se zasnivaju na neophodnim pojednostavljenjima koja omogućavaju nalaženje aproksimativnih rešenja problema stabilnosti mase tla. Pri tome se mogu razlikovati dve osnovne grupe metoda: granične metode zasnovane na teoriji plastičnosti i inženjerske metode granične ravnoteže.

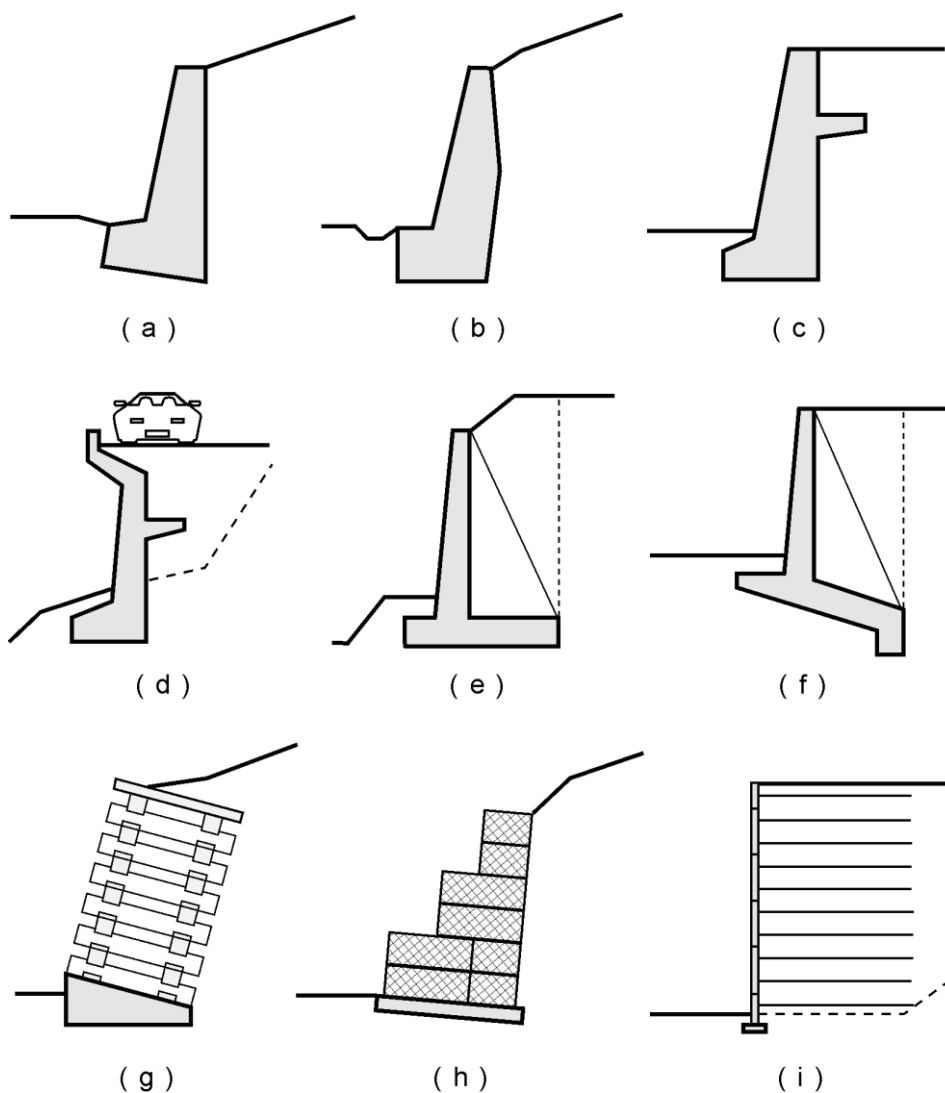
6.2 GRAVITACIONE POTPORNE KONSTRUKCIJE

Potporni zid se obično primenjuje kao trajna konstrukcija kada je potrebno obezbediti prostor (Slika 6.3-a) a želi se izbeći kosina po konturi iskopa. Masivni ili gravitacioni potporni zid svoj naziv i stabilnost duguje sopstvenoj težini koja mu obezbeđuje sigurnost pri delovanju horizontalnih komponenti opterećenja. Faze građenja prikazane su na Slici 8.3. Prvo se formira privremena kosina po ivici iskopa (Slika 6.3-b) sa iskopom za temelj zida, izgradi se potporni zid (Slika 6.3-c), a zaleđe zida do privremene kosine se zatim zaspe pogodnim, najčešće krupnozrnim, tлом (Slika 6.3-d). Za konstrukcije ove vrste i namene obično se ne postavljaju strogi uslovi u pogledu veličine pomeranja, tako da se mogu tolerisati centimetarske, pa i decimetarske veličine, bez štetnih posledica.



Slika 6.3. Faze građenja masivnog gravitacionog potpornog zida

Konstruktivni oblici potpornih konstrukcija gravitacionog tipa su raznovrsni, tako da izbor tipa potpornog zida podleže racionalnim merilima funkcionalnosti, ekonomičnosti i tehničke prihvatljivosti u određenim okolnostima, pri čemu i nivo opremljenosti izvođačke operative i tekuća praksa, imaju značajan uticaj na izbor konačnog rešenja. Neki tipovi gravitacionih potpornih konstrukcija prikazani su na Slici 6.4.



Slika 6.4. Neki karakteristični konstruktivni oblici gravitacionih potpornih zidova

Masivni potporni zidovi (Slika 6.4-a i Slika 6.4-b) se u novije vreme grade uglavnom od nearmiranog betona. Ove konstrukcije se odlikuju relativno jednostavnim postupkom građenja ali sa velikim utroškom betona. Za izvođenje ovog tipa konstrukcije nisu potrebni ni specijalni materijali niti specijalna oprema, tako da se izvođenje masivnog potpornog zida može prepustiti gotovo svakom izvođaču bez primene nekih posebnih kriterijuma, što u našim uslovima i predstavlja jedan od osnovnih razloga rasprostranjenosti ovog tipa konstrukcije. U slučaju prisustva podzemnih voda ili rizika infiltracije površinskih voda, zaleđe zida se mora obezbediti drenažom. Radi smanjenja sila aktivnog pritiska moguće su varijante sa rasteretnom konzolom, "policom", u zaleđu zida, prema Slici 6.4-c, što zahteva izvesnu manju količinu armature za vezu sa masivnim zidom. Količina potrebne armature raste sa smanjivanjem mase betona, posebno ako treba primiti i saobraćajno opterećenje na konzoli u vrhu konstrukcije koja omogućuje potrebnu širinu kolovoza, prema Slici 6.4-d.

U cilju smanjivanja količine betona izvode se armiranobetonske potporne konstrukcije koje gravitacionu funkciju masivnih zidova postižu angažovanjem tla u zaleđu odgovarajućom širinom

temeljne ploče (Slika 6.4-e i Slika 6.4-f), koja može biti horizontalna ili u nagibu i/ili ojačana vertikalnim zubom za povećanje sigurnosti u pogledu klizanja po temeljnoj spojnici i sigurnosti protiv proloma temeljnog tla, ukoliko se grade na slabo nosivoj podlozi. Minimiziranje dimenzija temeljne ploče i zida se može postići izradom kontrafora na odgovarajućim odstojanjima tako da se poboljšavaju uslovi oslanjanja i raspodela momenata savijanja u armiranobetonskoj konstrukciji. Zahtevi u pogledu drenaže su slični kao i kod masivnih potpornih zidova. Za razliku od prethodno opisanih konstrukcija, koje su relativno krute i zbog toga se konstruktivno prekidaju nizom vertikalnih spojnica raspoređenih po dužini zida, moguće su i relativno fleksibilne konstrukcije. Zidovi od armiranobetonskih gredica mogu imati više konstruktivnih oblika. Osnovni tip (Slika 6.4-g) se sastoji od dve vrste prefabrikovanih armiranobetonskih elemenata - gredica. To su podužni i vezni (ili poprečni) elementi koji se slažu u obliku vitla i tako formiraju prostor za zapunjavanje krupnozrnim materijalom. Ispuna može biti od peska, šljunka ili drobljenog kamena, bez većeg učešća sitnozrnih frakcija, kako bi se obezbedila vodopropusnost. Širina podužnog elementa mora biti najmanje dva puta veća od vertikalnog odstojanja podužnih gredica kako bi se granularna ispuna zadržala u konstrukciji. Alternativno prikazanom "otvorenom" tipu, može se graditi i "zatvoren" tip, sa gredicama bez većih vertikalnih međuprostora. Potrebne osnovne proporcije zida određuju se iz uslova stabilnosti koji važe i za masivne konstrukcije. U ovom slučaju nije potreban poseban drenažni sistem, jer je konstrukcija u celini vodopropusna, ali ipak treba obratiti pažnju na sufozionu stabilnost poduprtog tla.

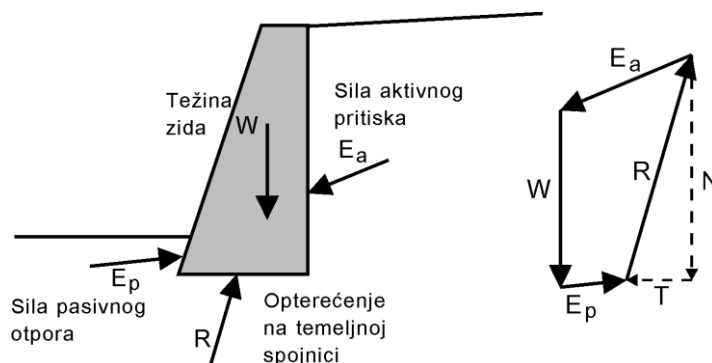
Relativno fleksibilne potporne konstrukcije, za brzu stabilizaciju manjih klizanja kosina, mogu se graditi od gabiona (Slika 6.4-h). Kavez gabionskog elementa u obliku kvadera izrađuje se od pocinkovane žice ili žice zaštićene tankim plastičnim omotačem koji se formira oko skeleta od okruglog čelika. Prečnik žice se kreće između *1.8 i 3.4 mm* u mreži sa otvorima od *4x4 do 10x10 cm*. Prazan gabion, "kavez", slaže se na mestu podizanja zida, puni se krupnim granularnim materijalom, (šljunak, obluci, tucanik ili slagani krupan kamen), uz sasvim lako zbijanje i zatim zatvori i veže. Proces se ponavlja sukcesivno dok se ne postigne predviđena visina. Konstruktivni zahtevi su uslovljeni maksimalnom visinom zida i vrstom ispune. Sukcesivno građenje uzrokuje porast vertikalnih napona, a samim tim i porast horizontalnih napona do aktivnog naponskog stanja kojim je opterećena spoljna mreža zida. U pogledu zahteva opšte stabilnosti, gabionski potporni zid se može tretirati kao masivna konstrukcija koja ne prima napone zatezanja. Kako je ispuna gabiona vodopropusna, posebne drenažne mere nisu neophodne osim ako se u zaleđu očekuje znatan dotok vode iz izrazito erodibilnog materijala.

Potporne konstrukcije od armirane zemlje nastale su početkom šezdesetih godina u Francuskoj, da bi već nakon petnaestak godina u razvijenijim zemljama bilo izgrađeno preko 2000 takvih konstrukcija, ukupne površine od oko *1.4 miliona* kvadratnih metara površine lica zida. Od toga je preko *80%* konstrukcija izgrađeno u sklopu saobraćajnica. Osnovna konstrukcija je doživela niz izmena i modifikacija tehničkih detalja, ali je zadržana osnovna ideja armiranja tla horizontalnim metalnim trakama gusto raspoređenim u pravilnim horizontalnim i vertikalnim razmacima. Element lica zida može biti ili od valjanog lima od galvaniziranog čelika ili aluminijuma polueliptičnog preseka visine oko *25 cm* ili češće, od prefabrikovanih armiranobetonskih ploča, prema skici prikazanoj na Slici 6.4-i. Debljina betonskog elementa je u granicama od oko *18 do oko 25 cm*, tako da sa površinom od oko *2 m²* ukupna težina ne prelazi oko

10 kN (1 tona). Montaža elemenata se vrši sukcesivno sa polaganjem trakaste armature od mekog ili galvanizovanog čelika, nerđajućeg čelika, od aluminijumskih legura ili mreže od čvrste plastike, sintetičkog materijala (geogrid). Ispuna se izvodi nasipanjem tla u slojevima između dva susedna nivoa armiranja. Svaki element, panel, je krut, ali u sklopu sa drugim elementima čini relativno fleksibilnu konstrukciju. Veze između betonskih elemenata omogućuju relativnu rotaciju elemenata i oko vertikalnih osa, tako da se mogu graditi zidovi u krivinama sa minimalnim poluprečnikom od dvadesetak metara. U pogledu stabilnosti potrebno je, osim uobičajenih zahteva opšte stabilnosti zida kao masivne potporne konstrukcije, obezbediti i konstruktivnu celinu tla, zidnih elemenata i armature otporne na koroziju ili degradaciju.

Sile koje deluju na masivnu potpornu konstrukciju prikazane su na Slici 6.5. Reaktivna sila R je u ravnoteži sa težinom zida i komponentama zemljanih pritisaka E_a i E_p . Sila aktivnog pritiska E_a nastaje pri zasipanju zaleđa zida i ima tendenciju da potisne zid ka unutrašnjosti iskopa. Ovom pomeranju se suprotstavlja smičući otpor klizanja T i pasivni otpor tla iznad nivoa temeljne spojnice E_p . Radi postizanja maksimalnih ekonomskih efekata, potporne konstrukcije se obično dimenzionišu na aktivni pritisak nevezane krupnozrne ispune, ali se, u posebnim slučajevima, dimenzionisanje može provesti i za proizvoljne uslove pomeranja. Horizontalna komponenta aktivnog pritiska ima tendenciju i da, prevrne zid oko spoljne ivice temelja, koja se naziva nožicom zida. Ovom prevrtanju se suprotstavlja sopstvena težina zida i vertikalna komponenta aktivnog pritiska. Težina zida ima važnu ulogu iz dva razloga: suprotstavlja se preturanju zida i omogućava pojavu otpora trenja T u nivou temeljne spojnice pa se zbog toga zid i naziva gravitacionim potpornim zidom. U opisanom mehanizmu prikazanom na Slici 6.1-a je, radi jednostavnosti, pretpostavljeno da ne dolazi do proloma temeljnog tla, tako da klizanje po temeljnoj spojnici predstavlja kritični mehanizam nestabilnosti.

Gravitacioni potporni zid, zajedno sa ispunom u njegovom zaleđu i tлом na koje se oslanja, je visoko neodređen statički sistem. Veličine sila koje deluju na zid se ne mogu odrediti samo korišćenjem uslova ravnoteže. Njihove veličine zavise od redosleda i načina građenja i zapunjavanja. Zbog toga se dimenzioniranje takvog zida zasniva na određivanju sila koje bi delovale kada bi zid počeo da se ruši, tj. da se pomera i/ili pretura, ili samo rotira oko ivice temelja zida ili kliza po temeljnoj spojnici. Jedan mehanizam prikazan je na Slici 6.1-a, gde se u zaleđu zida formira aktivna prizma tla ograničena ravnom kliznom površi, koja je uravnotežena silom aktivnog pritiska, dok se u području nožice zida pojavljuje pasivna prizma. Aktivne i pasivne prizme se često nazivaju aktivnim, odnosno pasivnim klinom.



Slika 6.5. Sile koje deluju na masivnu potpornu konstrukciju

6.3 AKTIVNI PRITISAK. RANKINOVA TEORIJA PRITISAKA TLA

Aktivni pritisak tla na zid se dobija kao:

$$p_a = \sigma_1 \left(\frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \right) - 2c \left(\frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \right)^{1/2} \quad (8.6)$$

Koeficijent aktivnog pritiska K_a u gornjem izrazu (8.6) je:

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2 (45^\circ - \phi/2) \quad (8.7)$$

Pošto je vertikalni napon na dubini z jednak $\sigma_1 = \sigma_z = \gamma z$, veličina aktivnog pritiska opisana sa (8.6) se kraće može napisati i u obliku:

$$p_a = K_a \gamma z - 2c \sqrt{K_a} \quad (8.8)$$

Kada horizontalni napon ima vrednost aktivnog pritiska, kaže se da se tlo iza zida nalazi u aktivnom Rankinovom stanju. Rezultantna sila aktivnog pritiska E_a jednaka je integralu horizontalnih napona po visini zida, tako da se formalno dobija:

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a - 2c H \sqrt{K_a} \quad (8.9)$$

Ukoliko postoji i kohezija $c > 0$, iz izraza za aktivni pritisak (8.6) sledi da postoji neki vertikalni napon γz_0 na dubini z_0 na kojoj je horizontalni napon jednak nuli, a za sve dubine manje od z_0 pojavljuju se naponi zatezanja. Rešavajući izraz (8.6) za p_a , uz izjednačavanje sa nulom, dobija se da je dubina z_0 na kojoj je $p_a = 0$:

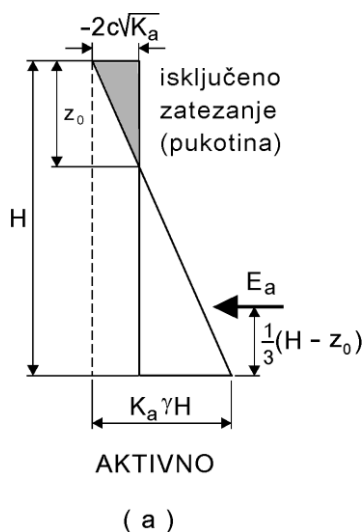
$$z_0 = \frac{2c}{\gamma} \left(\frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \right)^{1/2} = \frac{2c}{\gamma \sqrt{K_a}} \quad (8.10)$$

S obzirom da je otpornost tla na napone zatezanja veoma mala i praktično zanemarljiva, u području izračunatih napona zatezanja, od dubine z_0 do površine terena, će se pojaviti pukotina tako da se deo dijagrama napona u ovom intervalu mora zanemariti pri izračunavanju sile aktivnog pritiska E_a , kao što je to prikazano na Slici 6.12. Sila po jedinici dužine zida usled aktivnog pritiska tla je:

$$E_a = \int_{z_0}^H p_a dz = \frac{1}{2} K_a \gamma (H - z_0)^2 \quad (8.11)$$

Sila aktivnog pritiska deluje na visini $(H - z_0)/3$ iznad donje ivice zida.

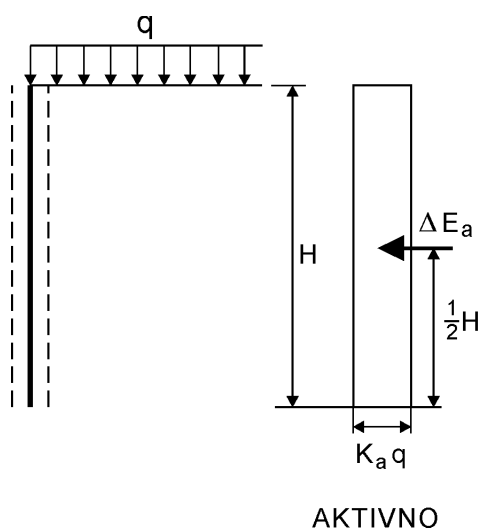
Izraz za dubinu z_0 se može iskoristiti za procenu moguće dubine vertikalne pukotine u tlu ili za izračunavanje moguće dubine vertikalnog zaseka u tlu.



Slika 6.12. Raspodela aktivnog i pasivnog pritiska

Ukoliko nema kohezije, dijagram raspodele aktivnog pritiska i pasivnog otpora je trougao.

Ako na horizontalnu površinu tla deluje jednako podeljeno opterećenje q , (Slika 6.13) vertikalni napon u svakoj tački će se povećati do veličine $\gamma z + q$, što za posledicu ima dodatni horizontalni pritisak $K_a q$ u aktivnom slučaju, sa konstantnom raspodelom dodatnih pritisaka po dubini. Odgovarajuća komponenta sile koje deluju na verikalni zid visine H je $K_a q H$ deluju na polovini visine zida.



Slika 6.13. Dodatni pritisci usled opterećenja na površini

Iz izvedenih izraza se vidi da kohezija, ukoliko postoji, smanjuje aktivni pritisak. U praksi se najčešće zaleđe zida zapunjava krupnozrnim materijalom, (peskom ili šljunkom), koji ima veći ugao smičuće otpornosti od glinovitih materijala, bolje se drenira i definitivno nema koheziju.