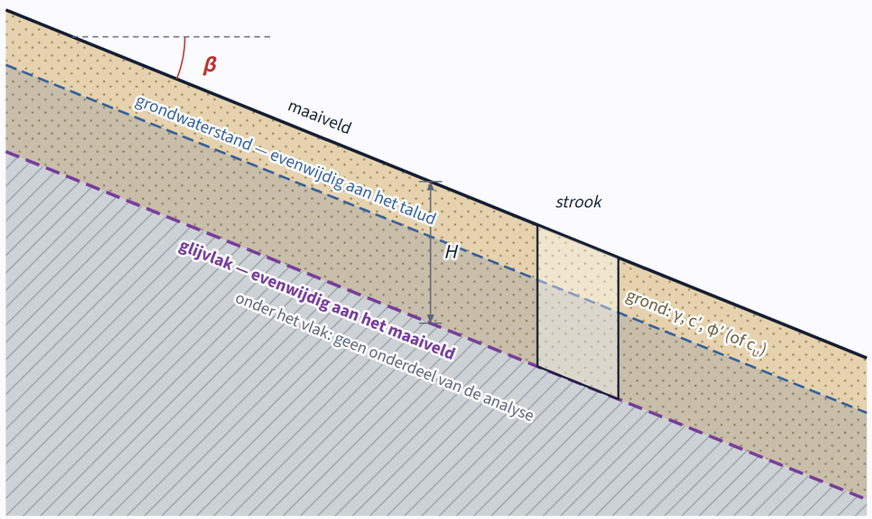
Geotechnische collegepresentatie · Taludstabiliteit

Stabiliteit van oneindig talud

College: model van een oneindig talud (glijvlak evenwijdig aan het maaiveld); spanningen, veiligheidsfactor, ongedraineerde klei, water, bezwijkcoëfficiënt bij aardbeving, kritieke diepte en vereiste hoek; bij elk onderwerp een rekenvoorbeeld.

Oneindig talud | Schuifsterkte en FS | Water · aardbeving | Kritische diepte · vereiste hoek | Met de hand oplosbaar



Wat leren we in dit college?

Waarom bij ondiepe afschuivingen het model van het **oneindig talud** wordt gebruikt: een dunne grondlaag die afschuift langs een vlak evenwijdig aan het maaiveld

De spanningen op een vlak uit één enkele **strook** ($\sigma = \sigma_v \cos^2\beta$, $\tau = \sigma_v \sin\beta \cos\beta$) en het verband $\boldsymbol{\tau/\sigma = \tan\beta}$

Mohr–Coulomb veiligheidsfactor: $FS = c'/(\gamma H \cos^2\beta \tan\beta) + \tan\varphi'/\tan\beta$; kritieke diepte H_{cr}, vereiste diepte H_{req}, vereiste hoek β_{req}

Ongedraineerde klei (c_u, $\varphi = 0$) en het effect van **water**: grondwaterstand (kwel evenwijdig aan het talud), poriënwaterdrukwrijvingsratio r_u

De veiligheidsfactor bij **pseudostatische aardbevingsbelasting** en de **bezwijkcoëfficiënt k_y** (de horizontale versnelling waarbij de massa begint te glijden)

COLLEGESTRUCTUUR

Elk onderwerp wordt in **drie stappen** behandeld:

1 · **Theorie**: wat is de regel, waarom is dat zo?

2 · **Opgave**: gegeven en gevraagd

3 · **Oplossing**: stap voor stap, met getallen

Voorbeeldtalud: $\beta = 15°$, glijvlak verticaal op 6 m diepte; grond $\gamma = 17.8$ kN/m³ (verzadigd 19.5), $c' = 10$ kPa, $\varphi' = 20°$; aanvankelijk geen poriënwaterspanning. De spanningen gelden per eenheid van oppervlakte van het vlak evenwijdig aan het maaiveld.

Een lamel uit het grondmassief

THEORIE

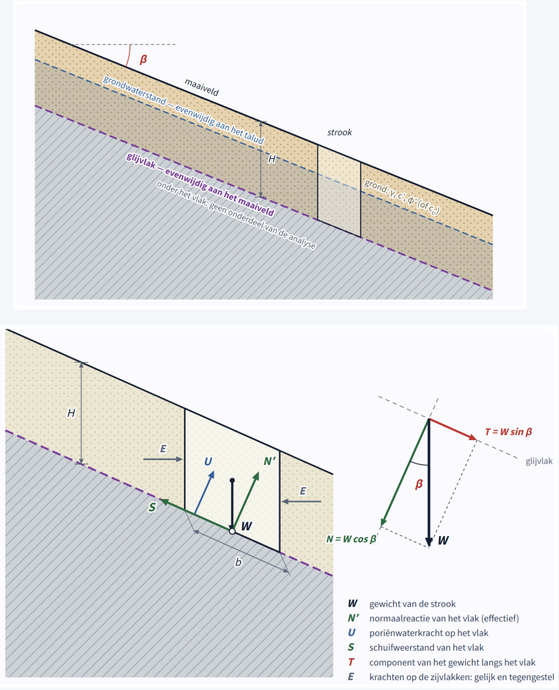
Veel taludafschuivingen zijn oppervlakkig: een dunne grondlaag schuift af langs een vlak evenwijdig aan het oppervlak op enkele meters diepte; het talud is zo lang dat de uiteinden nauwelijks van belang zijn (een ontgraven of opgehoogd talud na een natte periode, een natuurlijk kleitalud). Het **oneindig talud** is het model dat voor dit geval is gemaakt: het glijvlak verkeert overal in dezelfde toestand, zodat één lamel uit de massa het geheel vertegenwoordigt en het evenwicht ervan in enkele regels is op te schrijven.

Lamel: lengte b langs het glijvlak, 1 m breedte langs het talud; het vlak ligt op een verticale diepte H onder het maaiveld; de zijvlakken zijn verticaal en **heffen elkaar op** (het talud is oneindig lang, de grond is overal gelijk).

$$W = \gamma H b \cos\beta \qquad N = W\cos\beta \quad T = W\sin\beta$$

$$\sigma = \frac{N}{b} = \sigma_v \cos^2\beta \qquad \tau = \frac{T}{b} = \sigma_v \sin\beta\cos\beta \qquad \frac{\tau}{\sigma} = \tan\beta$$

In een lamel met weggelaten zijvlakken zijn de spanningen op het vlak even schuin als het talud: τ/σ = tan β. Als er zich boven het vlak twee volumieke gewichten bevinden (grondwaterstand), dan geldt $\sigma_v = \gamma(H - h_w) + \gamma_{sat} h_w$; de vergelijkingen blijven dezelfde.



Opgave

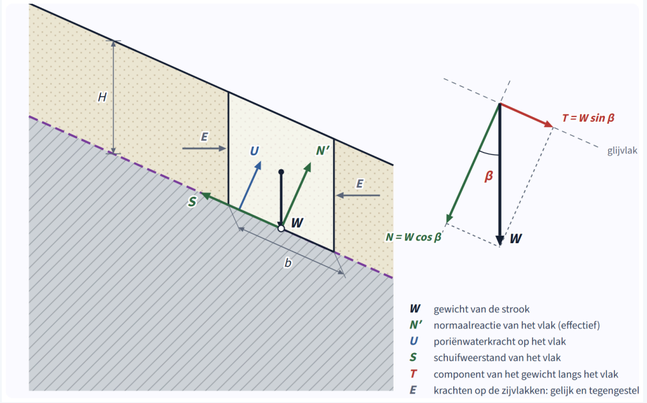
VOORBEELD

Gegeven

Talud	$\beta = 15^\circ$; **glijvlak verticaal op** $H = 6$ **m diepte**
Grond	$\gamma = 17.8$ **kN/m³; geen poriënwaterdruk**

GEVRAAGD

Verticale spanning σ_V, normaalspanning σ en schuifspanning τ op het vlak.



Oplossing

OPLOSSING

1 Verticale spanning

$$\sigma_v = \gamma H = 17.8 \times 6 = \mathbf{106.80}\ \mathrm{kPa}$$

2 Spanning loodrecht op en evenwijdig aan het vlak

$$\sigma = \sigma_v \cos^2\beta = 106.80 \times 0.93301 = \mathbf{99.65}\ \mathrm{kPa}$$

$$\tau = \sigma_v \sin\beta\cos\beta = 106.80 \times 0.25000 = \mathbf{26.70}\ \mathrm{kPa} \qquad \frac{\tau}{\sigma} = 0.2679 = \tan 15^\circ\ \checkmark$$

Op een eenheidsoppervlak van het vlak werkt een normaalspanning **σ = 99.65 kPa** loodrecht en een schuifspanning **τ = 26.70 kPa** tangentieel; de verhouding τ/σ = 0.2679 = tan 15°, dat wil zeggen de spanning helt evenveel als het talud.

Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

Mohr–Coulomb, gesloten vorm, kritieke diepte

THEORIE

De grond op het vlak draagt de schuifsterkte τ_f: in gedraineerde analyse de Mohr–Coulomb-sterkte die afhangt van de effectieve normaalspanning ($\sigma' = \sigma - u$). De veiligheidsfactor is de verhouding van sterkte tot spanning: cohesie en wrijving worden met dezelfde factor gereduceerd tot de strook juist in evenwicht is:

$$\tau_f = c' + \sigma' \tan\varphi' \qquad FS = \frac{\tau_f}{\tau} \qquad \sigma' = \sigma - u$$

Zonder poriënwaterdruk geldt $\sigma' = \sigma$ en volgt een **gesloten oplossing** uit de spanningen:

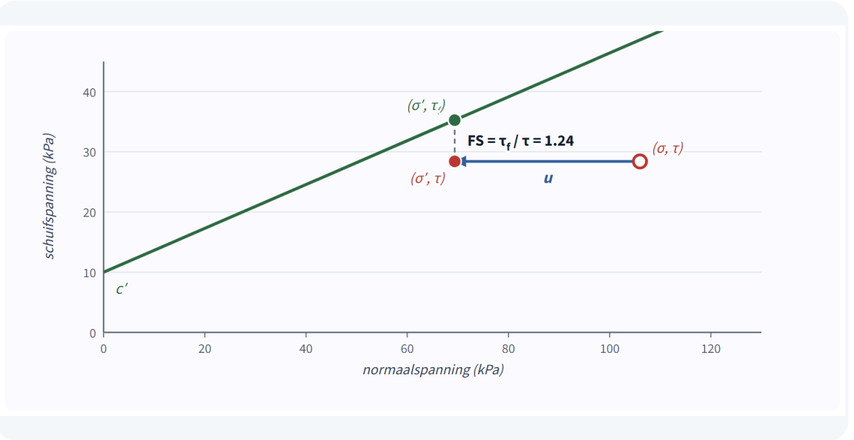
$$FS = \frac{c'}{\gamma H \cos^2\beta \, \tan\beta} + \frac{\tan\varphi'}{\tan\beta}$$

Niet-samenhangende grond ($c' = 0$): $FS = \tan\varphi'/\tan\beta$; als het talud flauwer is dan φ', is het op elke diepte veilig.

Samenhangende grond: cohesie houdt het ondiepe vlak (FS groot); naarmate het dieper ligt daalt FS en blijft alleen wrijving over.

Als $\beta > \varphi'$, is er een **kritieke diepte** waarbij $FS = 1$ en een **vereiste diepte** waarbij $FS = FS_{req}$; voor cohesieloze grond geldt voor β_{req}: $\tan\beta_{req} = \tan\varphi'/FS_{req}$:

$$H_{cr} = \frac{c'}{\gamma}\frac{1}{\cos^2\beta(\tan\beta - \tan\varphi')} \qquad H_{req} = \frac{c'}{\gamma \cos^2\beta\,(FS_{req}\tan\beta - \tan\varphi')}$$



Opgave

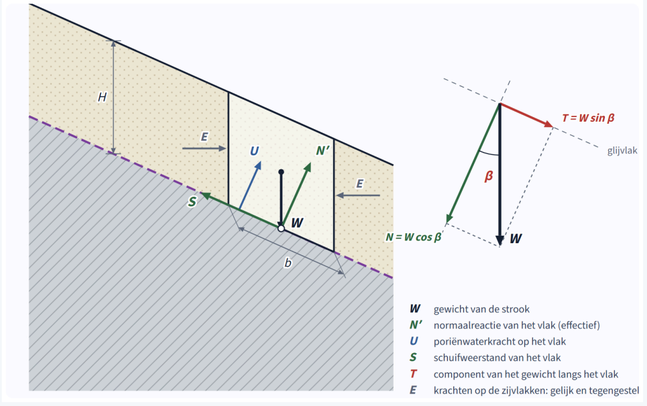
VOORBEELD

Gegeven

Talud en grond	**Voorbeeld 1:** $\beta = 15^\circ$, $H = 6$ **m,** $\gamma = 17.8$ **kN/m³;** $c' = 10$ **kPa,** $\varphi' = 20^\circ$**; geen poriënwaterdruk**

GEVRAAGD

De τ_f en **FS** van het vlak; verificatie met de gesloten oplossing.



Oplossing

OPLOSSING

1 Sterkte en veiligheidsfactor (met de spanningen uit Voorbeeld 1)

$$\tau_f = c' + \sigma \tan \varphi' = 10 + 99.65 \times 0.36397 = \mathbf{46.27}\ \text{kPa}$$

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau} = \frac{46.27}{26.70} = \mathbf{1.733}$$

2 Analytische oplossing (toets)

$$FS = \frac{10}{17.8(6)(0.93301)(0.26795)} + \frac{0.36397}{0.26795} = 0.3745 + 1.3584 = \mathbf{1.7329}$$

Veiligheidsfactor **1.733**. De cohesieterm is 0.3745, de wrijvingsterm tan 20°/tan 15° = 1.3584: samen geven zij hetzelfde getal. Omdat het talud (15°) flauwer is dan de wrijvingshoek (20°), houdt de wrijving alleen het talud in stand; de cohesie vergroot de marge.

Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

Opgave

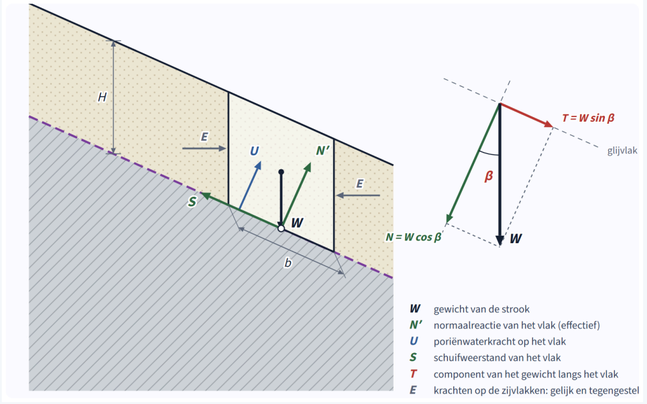
VOORBEELD

Gegeven

Grond	**Grond uit voorbeeld 2 ($c' = 10$ kPa, $\varphi' = 20°$, $\gamma = 17.8$ kN/m³)**
Gevraagd	**vereiste veiligheidsfactor $FS_{req} = 2.0$; ook de kritieke diepte voor een steiler talud $\beta = 25°$**

GEVRAAGD

H_{req} (β = 15°); **β_{req}** (H = 6 m); **H_{cr}** voor β = 25°.



Oplossing

OPLOSSING

1 Vereiste diepte (β = 15°; FS_{req} = 2)

$$H_{req} = \frac{c'}{\gamma \cos^2\beta(FS_{req}\tan\beta - \tan\varphi')} = \frac{10}{17.8(0.93301)(2(0.26795) - 0.36397)} = \mathbf{3.50}\ \mathrm{m}$$

2 Vereiste hoek (H = 6 m): de wortel van de vergelijking FS(β) = 2; kritieke diepte (β = 25°)

$$FS(\beta) = \frac{10}{106.8\cos^2\beta\tan\beta} + \frac{0.36397}{\tan\beta} = 2 \Rightarrow \beta_{req} = \mathbf{13.02}^\circ$$

$$H_{cr}(25^\circ) = \frac{10}{17.8(0.8214)(0.4663 - 0.3640)} = \mathbf{6.68}\ \mathrm{m}$$

Voor FS = 2 mag het vlak hoogstens **3.50 m** diep liggen; op 6 m mag het talud voor dezelfde veiligheid niet steiler zijn dan **13.0°**. Omdat β = 25° > φ′ is er een kritieke diepte waarbij FS tot 1 daalt: **6.68 m**. Bij het bestaande talud (β < φ′) is er geen kritieke diepte.

Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

Totale spanning: c_u en $\varphi = 0$

THEORIE

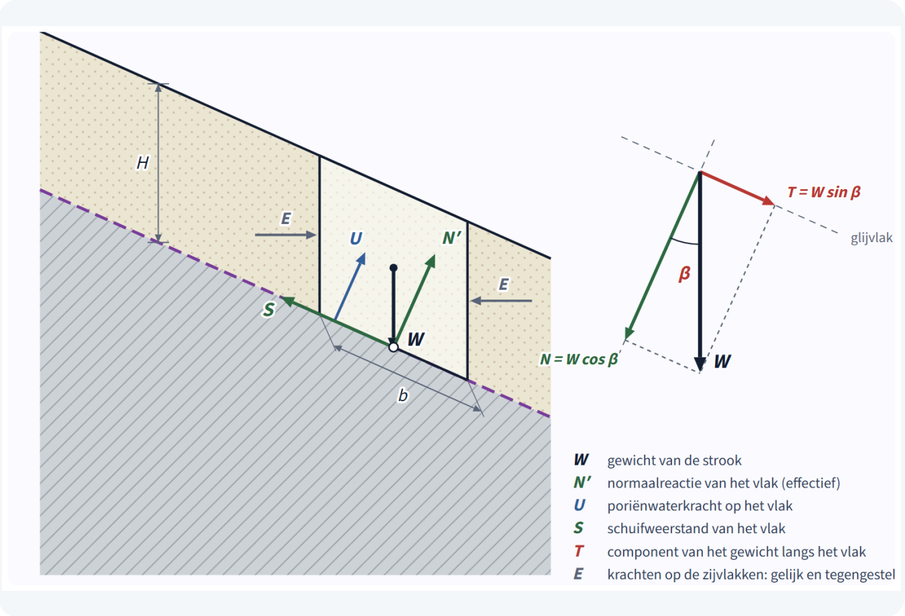
Verzadigde klei die te snel voor drainage wordt belast of afgeschoven (de korte-termijntoestand van een ontgraving in zachte klei) wordt in **totale spanning** met c_u en $\varphi = 0$ doorgerekend. De sterkte is niet afhankelijk van de normaalspanning; de poriënwaterspanning wordt niet ingevoerd:

$$FS = \frac{c_u}{\tau} = \frac{c_u}{\gamma H \sin\beta \cos\beta} = \frac{2c_u}{\gamma H \sin 2\beta}$$

$\tau = (\gamma H/2)\sin 2\beta$ is het grootst bij een talud van 45°; FS is **omgekeerd evenredig** met de diepte: een tweemaal zo diep vlak heeft de helft van de FS.

Een klei die op korte termijn ongedraineerd stabiel is, is dat na drainage wellicht niet: de lange termijn is een **gedraineerde analyse** met poriënwaterspanningen uit de grondwaterstand en gedraineerde c', φ'.

$H_{cr} = c_u/(\gamma \sin\beta \cos\beta)$; $H_{req} = c_u/(FS_{req}\, \gamma \sin\beta \cos\beta)$; $\sin 2\beta_{req} = 2c_u/(FS_{req}\, \gamma\, H)$.



Opgave

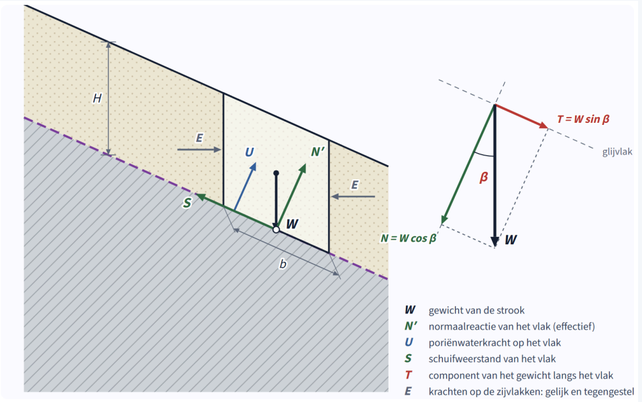
VOORBEELD

Gegeven

Talud	$\beta = 15^\circ$, $H = 6$ **m**, $\gamma = 17.8$ **kN/m³;** **ongedraineerde klei** $c_u = 40$ **kPa** ($\varphi = 0$)
Gevraagd	$FS_{req} = 2.0$

GEVRAAGD

FS, H_{cr}, H_{req}, β_{req}.



Oplossing

OPLOSSING

1 Veiligheidsfactor en kritieke diepte

$$FS = \frac{c_u}{\gamma H \sin\beta \cos\beta} = \frac{40}{17.8(6)(0.2500)} = \frac{40}{26.70} = \mathbf{1.498}$$

$$H_{cr} = \frac{c_u}{\gamma \sin\beta \cos\beta} = \frac{40}{17.8(0.2500)} = \mathbf{8.99}\ \text{m}$$

2 Vereiste diepte en hoek (FS_{req} = 2)

$$H_{req} = \frac{c_u}{FS_{req}\,\gamma \sin\beta \cos\beta} = \frac{8.99}{2} = \mathbf{4.49}\ \text{m}$$

$$\sin 2\beta_{req} = \frac{2c_u}{FS_{req}\gamma H} = \frac{80}{2(106.8)} = 0.3745 \;\Rightarrow\; \beta_{req} = \mathbf{11.00}^\circ$$

Met c_u = 40 kPa is **FS = 1.50** (1.73 in gedraineerde toestand). Voor FS = 2 is het talud hoogstens **11.0°**; H_{cr} = 8.99 m.

Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

Seepage evenwijdig aan het talud; poriëndrukverhouding r_u

THEORIE

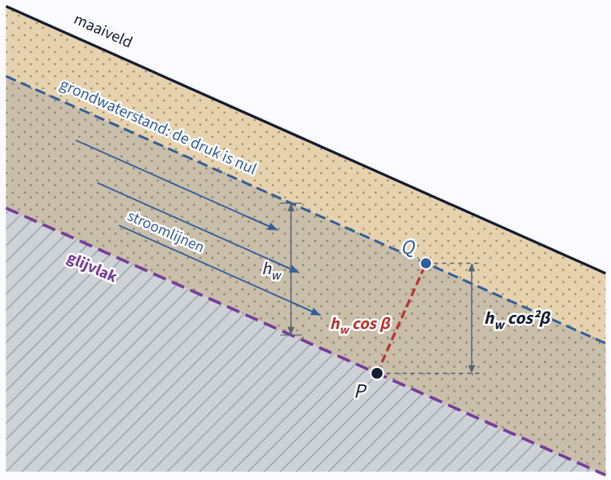
Water reduceert de effectieve spanning via de poriënwaterspanning u en ontneemt zo de sterkte. Als de grondwaterstand op diepte z_w onder het maaiveld ligt (verticaal), heeft de grond erboven volumiek gewicht γ en eronder γ_{sat}; de waterhoogte boven het vlak is $h_w = H - z_w$. Als het water evenwijdig aan het maaiveld stroomt, staat de equipotentiaallijn door punt P loodrecht op het talud; de drukhoogte is $h_w\cos^2\beta$:

$$u = \gamma_w h_w \cos^2\beta \qquad \sigma' = \sigma - u \qquad FS = \frac{c' + \sigma' \tan\varphi'}{\tau}$$

$$\text{water aan maaiveld: } FS = \frac{c'}{\gamma_{sat} H \cos^2\beta \tan\beta} + \frac{\gamma'}{\gamma_{sat}} \frac{\tan\varphi'}{\tan\beta} \qquad r_u = \frac{u}{\gamma H} : \; FS = \frac{c'}{\gamma H \cos^2\beta \tan\beta} + \left(1 - \frac{r_u}{\cos^2\beta}\right) \frac{\tan\varphi'}{\tan\beta}$$

Voor cohesieloze grond met de grondwaterstand aan het oppervlak geldt FS = (γ′/γ_{sat}) tan φ′/tan β: omdat γ′/γ_{sat} ≈ ½, vereist een zandtalud dat in droge toestand dicht bij φ′ staat, onder kwel een talud waarvan de tangens gehalveerd is.

Als de poriënwaterspanning uit een piëzometer of een stromingsnet komt, wordt de verhouding van het grondgewicht als r_u gegeven. Als σ′ ≤ 0 volgt (water tilt de grond van het vlak), wordt de wrijving op nul gesteld, blijft alleen de cohesie over en wordt dit vermeld.



Op de equipotentiaallijn
PQ is de stijghoogte gelijk in P en in Q.

In Q is de druk nul, dus de drukhoogte in P is het stijgingsverschil van P naar

$u / \gamma_w = h_w \cos^2\beta$

Opgave

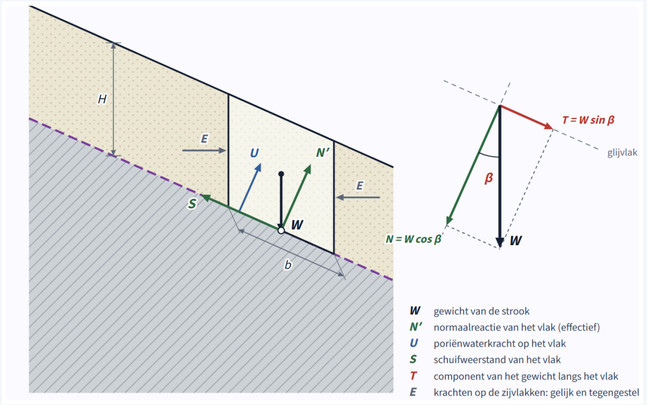
VOORBEELD

Gegeven

Talud en grond	**Het talud van Voorbeeld 2; $\gamma = 17.8$ (droog), $\gamma_{sat} = 19.5$ kN/m³**
Watercondities	**(a) grondwaterstand op $z_w = 2$ m, kwel evenwijdig aan het talud; (b) water aan het maaiveld ($z_w = 0$); (c) $r_u = 0.25$**

GEVRAAGD

In elk geval **u**, **σ′**, **τ_f** en **FS**; vergelijking met de droge FS.



Oplossing (1/2)

OPLOSSING

1 (a) Grondwaterstand op 2 m: $h_w = 6 - 2 = 4$ m

$$\sigma_v = 17.8(2) + 19.5(4) = 113.6 \text{ kPa}$$

$$\sigma = \sigma_v \cos^2\beta = 105.99 \text{ kPa} \quad \tau = \sigma_v \sin\beta\cos\beta = 28.40 \text{ kPa}$$

$$u = \gamma_w h_w \cos^2\beta = 9.81(4)(0.9330) = 36.61 \text{ kPa} \quad \sigma' = \sigma - u = 69.38 \text{ kPa}$$

$$FS = \frac{10 + 69.38(0.36397)}{28.40} = \frac{35.25}{28.40} = \mathbf{1.241}$$

Met de grondwaterstand op 2 m daalt FS van 1.73 in het droge geval naar **1.24**: water verhoogt zowel het grondgewicht (σ_v) als de poriënwaterspanning (36.6 kPa).

Oplossing (2/2)

OPLOSSING

2 Samenvatting van de drie watertoestanden (dezelfde vergelijkingen)

Toestand	σ_v (kPa)	σ (kPa)	τ (kPa)	u (kPa)	σ' (kPa)	τ_f (kPa)	FS
Droog	106.8	99.65	26.70	0.00	99.65	46.27	**1.733**
(a) z_w = 2 m	113.6	105.99	28.40	36.61	69.38	35.25	**1.241**
(b) water aan maaiveld	117.0	109.16	29.25	54.92	54.25	29.74	**1.017**
(c) r_u = 0.25	106.8	99.65	26.70	26.70	72.95	36.55	**1.369**

Bij water aan het oppervlak is FS = **1.02**, bijna op de grenswaarde; voor r_u = 0.25 is dat **1.37**. Een talud met ruime veiligheid in droge toestand heeft nat geen enkele marge: de module toont naast het resultaat de FS voor de droge toestand en voor water aan het oppervlak samen.

Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

Horizontale en verticale kracht; vloeicoëfficiënt k_y

THEORIE

De schudbelasting wordt vervangen door een constante versnelling (een fractie van g) die op de massa boven het vlak wordt aangebracht. Naast het gewicht W draagt de lamel een horizontale kracht **$k_h W$** langs het talud omlaag en een verticale kracht **$k_v W$** omhoog/omlaag; k_h en k_v zijn de coëfficiënten van de ingenieur (de module neemt ze niet uit een norm). Per eenheid van oppervlak geldt $W/A = \sigma_v \cos\beta$:

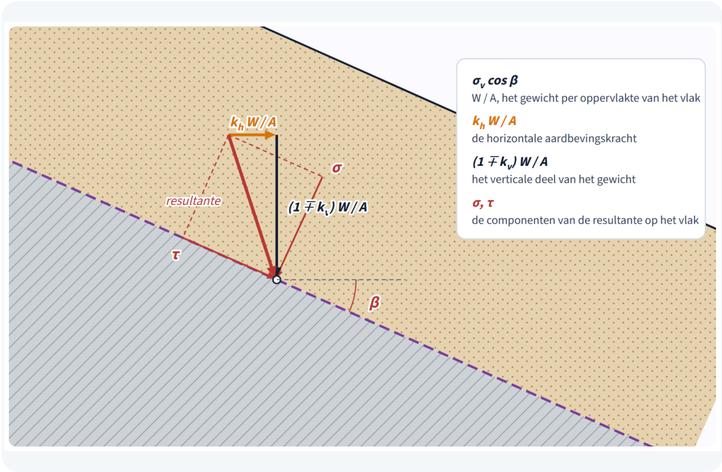
$$\sigma = \sigma_v \cos\beta\,[(1 \mp k_v)\cos\beta - k_h \sin\beta] \qquad \tau = \sigma_v \cos\beta\,[(1 \mp k_v)\sin\beta + k_h \cos\beta]$$

De poriënwaterspanning is de statische waarde (er wordt geen schudbelasting toegevoegd): $\sigma' = \sigma - u$; $FS_{eq} = \tau_f/\tau$ met de nieuwe σ en τ. De horizontale kracht verlaagt de normaalspanning en verhoogt de schuifspanning.

Beide richtingen van de verticale kracht worden beproefd en de richting die de **laagste FS** geeft, wordt aangehouden: in samenhangende grond gewoonlijk de opwaartse richting (zij verlicht het gewicht en verlaagt de normaalspanning); in klei onder totale spanning, omdat c_u niet van de normaalspanning afhangt, de neerwaartse richting, die de schuifspanning verhoogt.

Vloeicoëfficiënt k_y: de horizontale coëfficiënt waarbij $FS_{eq} = 1$. Droog, niet-samenhangend, $k_v = 0$: $k_y = \tan(\varphi' - \beta)$; in andere gevallen wordt k_h vanaf nul verhoogd totdat deze gevonden is. Een schudbelasting die $k_y g$ niet overschrijdt, brengt de massa niet in beweging; een die het wel overschrijdt, wel (hoe ver zij beweegt, is de analyse van het glijdende blok, die niet in de module zit).

$$k_y = \frac{\tan\varphi' - \tan\beta}{1 + \tan\varphi'\tan\beta} = \tan(\varphi' - \beta)$$



Opgave

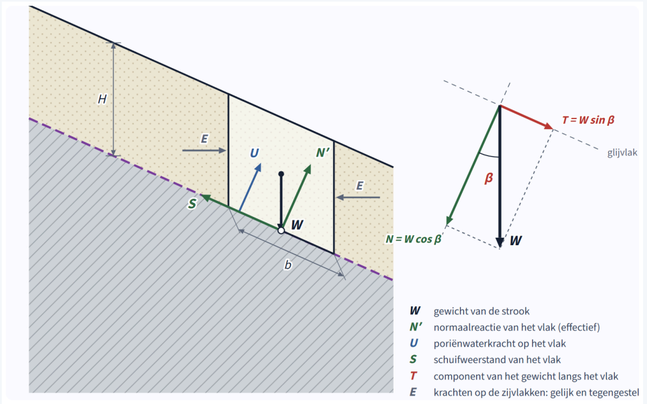
VOORBEELD

Gegeven

Talud en grond	**Droog talud uit Voorbeeld 2 ($c' = 10$ kPa, $\varphi' = 20°$, $\beta = 15°$, $H = 6$ m)**
Aardbeving	**$k_h = 0.15$, $k_v = 0.05$ (twee richtingen worden geprobeerd); tevens voor droog zand $\varphi' = 32°$, $\beta = 25°$**

GEVRAAGD

σ, **τ**, **FS_{eq}** (maatgevende richting); de tabel $FS(k_h)$ en **k_y**; k_y in droog zand.



Oplossing (1/2)

OPLOSSING

1 Kritieke richting: verticale kracht omhoog (k_v = +0.05 verlicht)

$$\sigma = \sigma_v \cos\beta\,[0.95\cos\beta - 0.15\sin\beta] = 103.16\,[0.8788] = 90.66\ \text{kPa}$$

$$\tau = \sigma_v \cos\beta\,[0.95\sin\beta + 0.15\cos\beta] = 103.16\,[0.3908] = 40.31\ \text{kPa}$$

$$FS_{eq} = \frac{10 + 90.66(0.36397)}{40.31} = \frac{43.00}{40.31} = \mathbf{1.067} \qquad (k_v \text{ hieronder: } 1.085)$$

De opwaartse verticale kracht is maatgevend: FS_{eq} = **1.067** (neerwaarts 1.085).

Oplossing (2/2)

OPLOSSING

2 FS(k_h) en vloeicoëfficiënt (waar FS = 1)

k_h	σ (kPa)	τ (kPa)	τ_f (kPa)	FS_{eq}
0.00	94.66	25.36	44.45	**1.753**
0.05	93.33	30.35	43.97	**1.449**
0.10	91.99	35.33	43.48	**1.231**
0.15	90.66	40.31	43.00	**1.067**
0.1746	90.00	42.76	42.76	**1.000**
0.20	89.32	45.29	42.51	**0.939**

De aardbeving verlaagt FS van 1.73 naar **1.07** (de opwaartse verticale kracht is maatgevend). **k_y = 0.175**: als k_h dit overschrijdt, begint de massa te glijden. In droog zand (φ' = 32°, β = 25°) geldt k_y = tan 7° = 0.1228.

Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

FS; H_{req}, β_{req}, H_{cr}

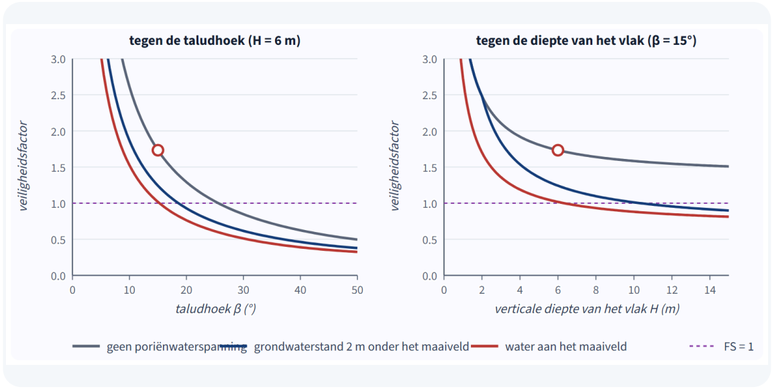
THEORIE

FS tegen helling: FS daalt gelijkmatig met β; de onderlinge afstand van de curven geeft aan hoeveel van de marge het water wegneemt; de hoek waarbij de curve FS_{req} snijdt is β_{req}.

FS tegen de diepte: de curve voor samenhangende grond daalt van een grote waarde aan het maaiveld tot het niveau dat door de wrijving wordt bepaald; waar zij FS = 1 snijdt, ligt de kritieke diepte. De grondwaterstand laat een spoor achter op de diepte waar het water het vlak voor het eerst bereikt; daarboven wordt de droge curve gevolgd.

FS tegen water: deze neemt toe naarmate de grondwaterstand dieper ligt en neemt af naarmate r_u groter wordt; dit toont hoe sterk een gedraineerd talud afhangt van de moeilijk te kennen poriënwaterspanning.

In de seismische situatie draagt elke grafiek een tweede (oranje) lijn; de vijfde grafiek van FS tegen k_h geeft k_y in het snijpunt met FS = 1.



Naast FS en de vergelijking met de vereiste waarde geeft het tabblad Resultaten: **H_{req}** (de eerste diepte waarbij FS daalt tot FS_{req}; "geen grens" als dat niet gebeurt), **β_{req}** (de steilste hoek, oplopend vanaf de vlakke hoek, waarbij FS_{req} nog steeds wordt gehaald), **H_{cr}**, de twee uiterste waterstanden (geen poriënwaterdruk / water aan het oppervlak) en bij aardbevingen FS_{eq}, k_y.

Opgave

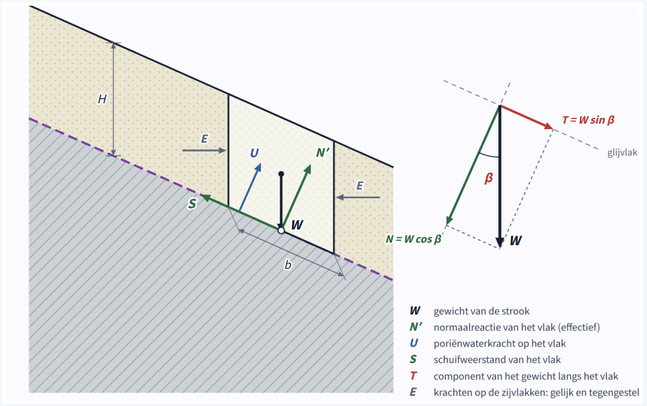
VOORBEELD

Gegeven

Grond	**De grond uit Voorbeeld 2 ($c' = 10$ kPa, $\varphi' = 20°$, $\gamma = 17.8$, $\gamma_{sat} = 19.5$ kN/m³)**
Tabel	**Waarden van FS voor $\beta =$ $10, 15, 20, 25, 30°$ en $H = 2, 4, 6, 8$ m bij droge grond en bij grondwaterstand op $z_w = 2$ m (via gesloten oplossing)**

GEVRAAGD

Tabel $FS_{kuru}(\beta, H)$; voor grondwaterstand H = 6 m; vanaf welke hoek is FS < 1?



Oplossing

OPLOSSING

1 FS = c′/(γH cos²β tan β) + tan φ′/tan β (droog); bij een grondwaterstand uit de spanningen (vet: FS < 1)

β (°)	H = 2 m	H = 4 m	H = 6 m	H = 8 m	H = 6, water z_w = 2 m
10	3.707	2.885	2.612	2.475	1.866
15	2.482	1.920	1.733	1.639	1.241
20	1.874	1.437	1.291	1.219	**0.928**
25	1.514	1.147	1.025	**0.964**	**0.741**
30	1.279	**0.955**	**0.847**	**0.793**	**0.616**

FS daalt regelmatig met de hoek en neemt af met de diepte (de cohesiebijdrage). Vanaf β = 20° en H = 8 m nadert zelfs een droog talud de grens; een grondwaterstand op z_w = 2 m brengt bij H = 6 m vanaf 20° de FS **onder 1** (0.62 bij 30°). Daarom worden β_{req} en H_{req} gezocht.

Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

Wat het model aanneemt

THEORIE

Model: oneindig talud: maaiveld is een vlak, het glijvlak loopt er evenwijdig aan op verticale diepte H; de uiteinden van het massief spelen geen rol; overal heerst dezelfde toestand; tweedimensionaal, 1 m langs het talud.

Grond: één grond boven het glijvlak (gegeven sterkte en volumiek gewicht); lagen, grond die langs het talud of met de diepte verandert en sterkte die met de diepte toeneemt zijn in dit model niet opgenomen; voor het grensvlak van een zwakke laag kunnen de eigenschappen van die laag worden gebruikt, of de module Taludstabiliteit.

Water: een grondwaterstand die evenwijdig aan het talud stroomt ($u = \gamma_w h_w \cos^2\beta$) of r_u; de poriënwaterspanning wordt niet uit neerslag of doorlatendheid berekend. **Sterkte**: Mohr–Coulomb in effectieve spanning of c_u; als $\sigma' \leq 0$ is de wrijving nul. Geen reststerkte, geen progressief bezwijken en geen worteleffect.

Aardbeving: uitsluitend pseudostatisch; de schudbeweging voegt geen poriënwaterspanning toe; amplificatie, duur, restporiënwaterspanning in losse verzadigde grond en blijvende verplaatsing worden niet berekend; de coëfficiënten zijn de keuze van de ingenieur.

Geen: bovenbelasting, trekscheur, wapening, teenwand. FS is de waarde voor één enkel vlak op één enkele diepte; er wordt niet gezocht naar een zwakker vlak dat niet evenwijdig aan het maaiveld loopt. Als het talud kort is ten opzichte van de diepte, of als de grond of het water langs het talud varieert, zijn de randen van belang: de module Taludstabiliteit wordt gebruikt.

Samenvatting

Belangrijkste punten

Strook: $\sigma = \sigma_v \cos^2\beta$, $\tau = \sigma_v \sin\beta \cos\beta$, $\tau/\sigma = \tan\beta$ (in het voorbeeld $\sigma = 99.65$, $\tau = 26.70$ kPa)

FS $= (c' + \sigma' \tan\varphi')/\tau = c'/(\gamma H \cos^2\beta \tan\beta) + \tan\varphi'/\tan\beta =$ **1.733**; $H_{req} = 3.50$ m ($FS_{req} = 2$), $\beta_{req} = 13.0°$; als $\beta > \varphi'$ dan H_{cr}

Ongedraineerde klei: $FS = c_u/(\gamma H \sin\beta \cos\beta) = 1.50$; omgekeerd evenredig met de diepte

Water: $u = \gamma_w h_w \cos^2\beta$; FS 1.73 → 1.24 ($z_w = 2$ m) → 1.02 (aan het oppervlak); $r_u = 0.25$ → 1.37

Aardbeving: horizontaal $k_h W$ en verticaal $k_v W$; de maatgevende richting wordt aangehouden (omhoog); FS 1.73 → 1.07; $\mathbf{k_y = 0.175}$; $\tan(\varphi' - \beta)$ bij droge niet-samenhangende grond

Grens: één vlak, oneindig talud; als de uiteinden of de lagen van belang zijn, wordt Taludstabiliteit (lamellen) gebruikt

Literatuur

Das, B.M. (2018). Principles of Geotechnical Engineering, 9th ed. Cengage Learning, Boston. Chapter 15, Slope Stability: the infinite slope in Sections 15.2–15.4.

Skempton, A.W. and DeLory, F.A. (1957). Stability of natural slopes in London Clay. Proceedings of the 4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, London, 2, 378–381.

Bishop, A.W. and Morgenstern, N.R. (1960). Stability coefficients for earth slopes. Géotechnique, 10(4), 129–150.

Duncan, J.M., Wright, S.G. and Brandon, T.L. (2014). Soil Strength and Slope Stability, 2nd ed. Wiley, Hoboken.

Newmark, N.M. (1965). Effects of earthquakes on dams and embankments. Géotechnique, 15(2), 139–160.

OPMERKING

Alle numerieke voorbeelden zijn gegenereerd met de eigen berekeningsmotor van de module; de module geeft dezelfde waarden. Het rekenvoorbeeld op de modulepagina is ook dit talud ($\beta = 15°$, $H = 6$ m, $\gamma = 17.8$, $c' = 10$ kPa, $\varphi' = 20°$).

GeoTerva

Online geotechnische berekeningen

Van theorie naar praktijk

Voer in GeoTerva de helling van uw eigen talud, de diepte van het glijvlak, de grondsterkte (gedraineerd of ongedraineerd), het water en de aardbevingscoëfficiënten in; de module geeft de spanningen, de veiligheidsfactor, de maatgevende en vereiste diepte, de vereiste hoek, de vloeicoëfficiënt en de grafieken in samenhang.

Module openen →

Theoriepagina →

Openen op de smartphone

Proefmodules vereisen geen registratie.

Wilt u ze in uw colleges gebruiken: info@geoterva.com