Geotechnisch college · Horizontale gronddruk

Passieve gronddruk: logaritmische spiraal

College: berekening van de passieve druk op een ruwe wand met een gekromd glijvlak (logaritmische spiraal), de proefwig van Terzaghi–Peck, de oplossing van Lancellotta, vergelijking met Coulomb; hellend rugvlak, hellend maaiveld, lagen en water; bij elk onderwerp een rekenvoorbeeld.

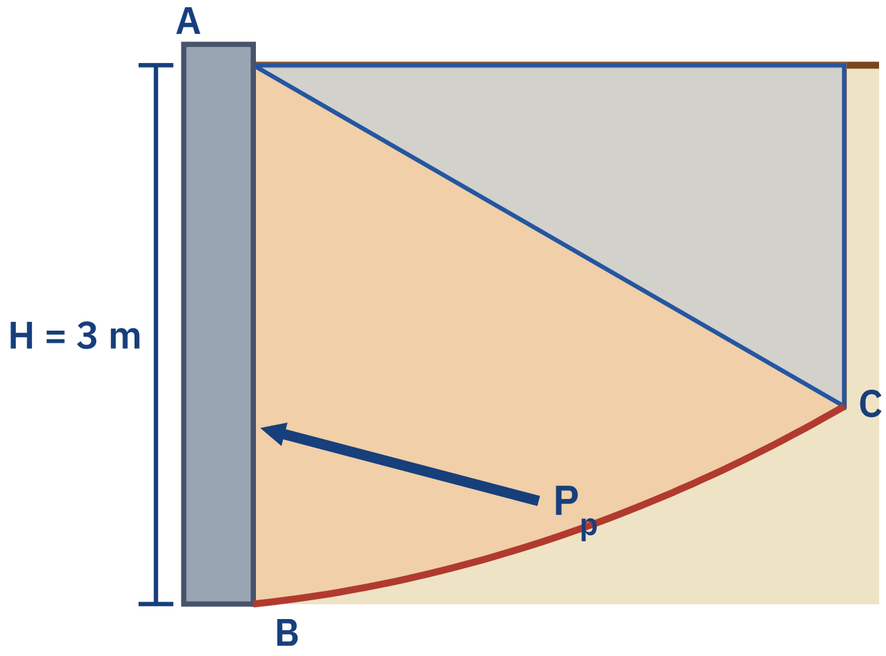
Wandwrijving

$r = r_0 e^{\omega \tan \varphi'}$

wig volgens Terzaghi – Peck

Lancellotta · Coulomb

Helling van de aanvulling · laag · water



Inleiding

Wat leren we in dit college?

- Waarom bij een ruwe wand een **gebogen oppervlak** nodig is in plaats van een **vlakke wig** (Coulomb)
- De **logaritmische spiraal**: $r = r_0 e^{\omega \tan \varphi'}$; elke straal snijdt de kromme onder φ', en de resultante gaat door het middelpunt van de spiraal
- Berekening van P met momentenevenwicht op de proefwig van **Terzaghi–Peck**; het bepalen van de kracht uit de **kleinste** proefwig
- K_p vergelijken met de **gesloten oplossing van Lancellotta** en met Coulomb, Shields–Tolunay, Zhu–Qian
- De gegeneraliseerde wig voor hellende aanvulling, hellend maaiveld, bovenbelasting, **lagen en water**
- Hoe **onveilig** Coulomb wordt bij grote δ'

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

De krachten zijn per eenheid van lengte van de wandkop (kN/m); $P_p = \tfrac{1}{2} K_p \gamma H^2$; de wandwrijving δ' werkt in de richting waarin de wand de grond naar beneden meesleept.

Waarom treedt bij passieve gronddruk geen vlak glijvlak op?

THEORIE

Het vlakke glijvlak van Coulomb is een goede benadering voor de **actieve** druk; voor de **passieve** weerstand van een ruwe wand geeft het echter meer dan de werkelijke weerstand, en des te meer naarmate de wandwrijving toeneemt: **aan de onveilige kant**.

Wanneer de wand in de grond wordt gedrukt, rijst de grond ten opzichte van de wand; de wand drukt de grond **naar beneden** (positieve wandwrijving) en de passieve kracht helt δ′ **naar beneden** ten opzichte van de normaallijn op het wandvlak. In dat geval is het glijvlak:

- nabij de teen (BC) **is een kromme** (logaritmische spiraal)
- nabij het maaiveld (CD) **recht** is: deze maakt 45° − φ′/2 met de horizontaal; de zone ACD verkeert in de passieve toestand van Rankine

HOEVEEL MEER GEEFT COULOMB?

φ′ / δ′	Spiraal	Coulomb
30° / 15°	4.61	4.98
30° / 30°	6.68	10.10
40° / 20°	9.67	11.77
40° / 40°	18.86	92.59

K_p-coëfficiënten; voor φ′ = δ′ = 40° geeft Coulomb 5 keer meer.

De eigenschap die de spiraal bruikbaar maakt

THEORIE

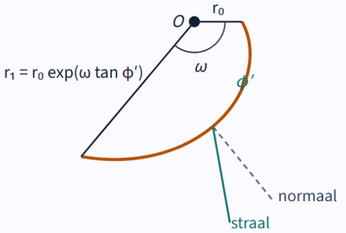
Het gekromde deel BC van het glijvlak wordt als een logaritmische spiraal met middelpunt O aangenomen:

$$r = r_0 \, e^{\omega \tan \varphi'}$$

r_0 is de straal bij ω = 0. De eigenschap van de spiraal: **elke straal snijdt de kromme onder φ′**. In granulaire grond maakt de resultante van de normaalkrachten en schuifkrachten op het glijvlak ook een hoek φ′ met de normaal; dat wil zeggen dat op de spiraal de resultante langs een straal ligt en **door O gaat**: dit volgt uit de momentvergelijking om O.

$$A_{OAB} = \frac{r_1^2 - r_0^2}{4 \tan \varphi'}$$

Het is de oppervlakte van de lamel tussen r_0 en r_1; de module bepaalt de wigoppervlakte en het zwaartepunt numeriek.



de resultante F van de normaal- en schuifkrachten op de spiraal (onder ϕ′ ten opzichte van de normaal) ligt op een deze gaat door O

Opgave

VOORBEELD

Gegeven

Spiraal	**middelpunt O; beginstraal** $r_0 = 1.00$ **m;** $\varphi' = 30^\circ$
Hoek	$\omega = 60^\circ$ **en** $\omega = 90^\circ$

GEVRAAGD

$\mathbf{r_1}$, de hoek van de straal met de kromme en het **oppervlak** van de sector.

Oplossing

OPLOSSING

1 ω = 60° = 1.0472 rad

$$r_1 = r_0 e^{\omega \tan\varphi'} = 1.00\, e^{1.0472 \times 0.5774} = 1.00\, e^{0.6046}$$

$$r_1 = \mathbf{1.831}\ \mathrm{m}$$

2 Sectoroppervlak

$$A = \frac{r_1^2 - r_0^2}{4 \tan\varphi'} = \frac{3.351 - 1.00}{4(0.5774)} = \mathbf{1.018}\ \mathrm{m^2}$$

3 voor ω = 90°

$$r_1 = 1.00\, e^{1.5708 \times 0.5774} = \mathbf{2.477}\ \mathrm{m} \qquad A = \mathbf{2.223}\ \mathrm{m^2}$$

De straal neemt per radiaal toe met een factor $e^{\tan\varphi'}$ = 1.781; bij ω = 60° is r_1 = 1.831 m en bedraagt de oppervlakte 1.018 m². De straal maakt met de kromme **in elk punt φ′ = 30°**; daarom gaat de resultante door O.

Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

Methode van Terzaghi en Peck (1967)

THEORIE

Voor de verticale wand AB met hoogte H:

Vanuit A wordt de lijn AC getekend onder het maaiveld onder **45° – φ′/2**; daarop wordt een punt C gekozen.

Op de lijn AC wordt het middelpunt **O** gevonden van de spiraal met straal r_0 = OB die door B gaat en C bereikt (r_1 = OC = $r_0 e^{\omega \tan \varphi'}$).

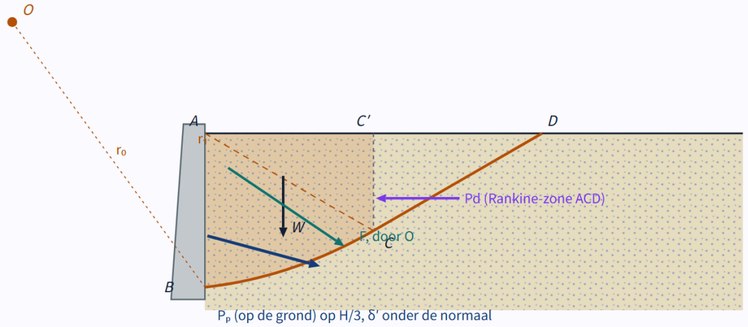
Het vlak CC′ draagt de passieve Rankine-kracht van zone ACD (horizontaal, d/3 boven C):

$$P_d = \tfrac{1}{2}\gamma d^2 \tan^2\left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2}\right)$$

Moment om O voor het gewicht W van wig ABCC′, P_d en de wandkracht P (op H/3, δ′ onder de normaal) (de resultante F gaat door O):

$$P = \frac{W\, l_W + P_d\, l_1}{l_P} \qquad P_p = \min_C P \qquad K_p = \frac{2P_p}{\gamma H^2}$$

De proef wordt voor vele C herhaald; de kleinste kracht is de passieve kracht. Bij δ′ = 0 gaat dit over in het spiraalvlak en geldt $K_p = \tan^2(45° + \varphi'/2)$.



Opgave

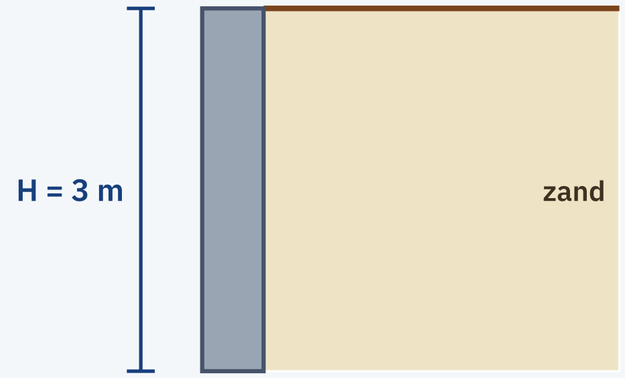
VOORBEELD

GEVRAAGD

Geometrie van de kleinste proefwig en **P_p**, **K_p**; vergelijking met enkele proefwiggen. De module opent met deze muur.

Gegeven

Wand	$H = 3$ **m, verticaal; horizontale aanvulling**
Grond	**droog zand:** $\gamma = 15.7\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 30^\circ$**;** **wandwrijving** $\delta' = 15^\circ$



γ = 15.7 kN/m³, φ′ = 30°, δ′ = 15° (passief)

Oplossing (1/2)

OPLOSSING

1 Geometrie (AC onder 45° − 15° = 30° met de horizontaal)

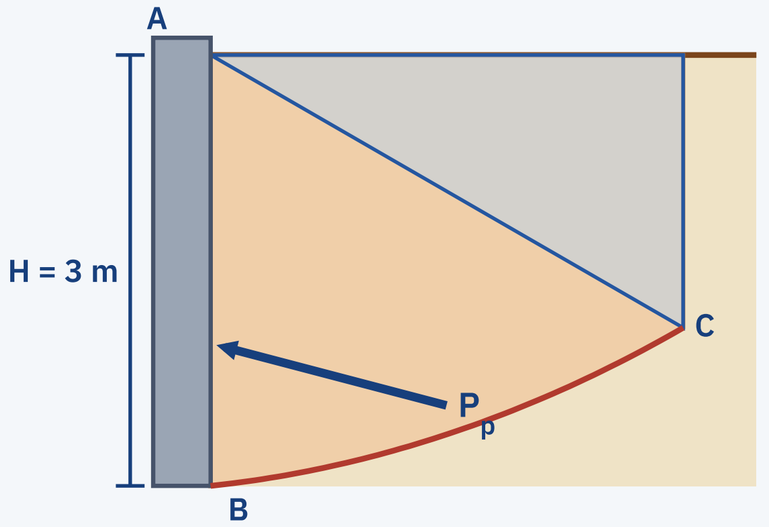
$$t = 3.80\ \text{m}: \quad C = (3.29;\ 1.10)\ \text{m}, \quad d = H - y_C = 1.90\ \text{m}$$

$$O = (-3.76;\ 5.17)\ \text{m}, \quad r_0 = OB = 6.39\ \text{m}, \quad r_1 = OC = 8.14\ \text{m}$$

2 Spiraalhoek en wiggewicht

$$\omega = \ln(r_1/r_0)/\tan 30^\circ = 23.97^\circ$$

$$W = \gamma A_{ABCC'} = 15.7\,(8.480) = \mathbf{133.14}\ \text{kN/m}$$



Oplossing (2/2)

OPLOSSING

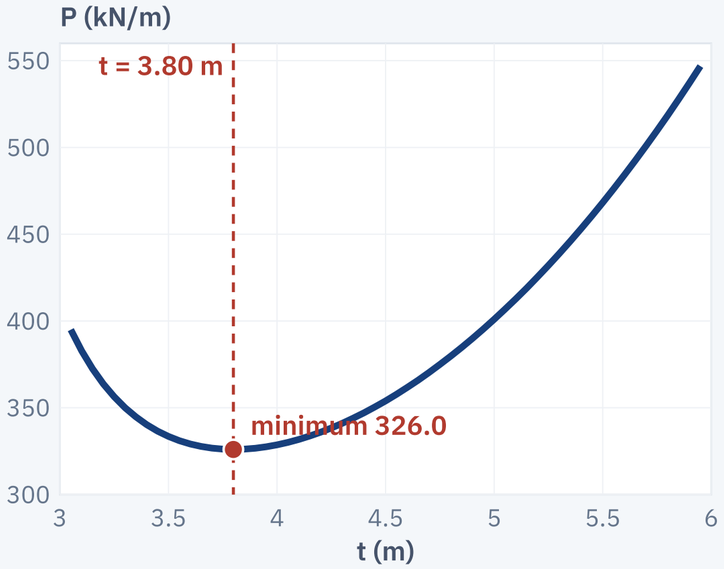
3 Rankine-zone: $P_d = ½γd²\tan²60°$

$$P_d = \tfrac{1}{2}(15.7)(1.899)^2(3) = \mathbf{84.96}\ \mathrm{kN/m}$$

4 Moment om O (hefarmsl_W = 5.289, $|l_1|$ = 3.438, l_P = 3.056 m)

$$P = \frac{W\,l_W + P_d\,|l_1|}{l_P} = \frac{133.14(5.289) + 84.96(3.438)}{3.056} = \mathbf{326.03}\ \mathrm{kN/m}$$

De kleinste proefkracht is **P_p = 326.0 kN/m** (t = 3.80 m); $K_p = 2P_p/(γH²)$ = **4.615**. Bij een kleinere of grotere t neemt de kracht toe (t = 3.2 m: 363.8; t = 4.5 m: 354.0 kN/m), dus de passieve kracht is de **kleinste** proefwig.



Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

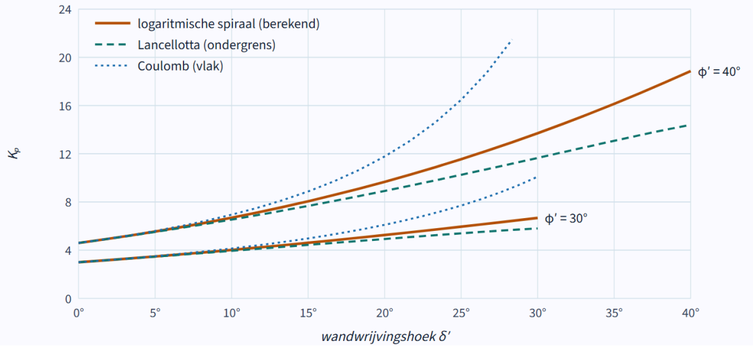
Spiraal en andere oplossingen

THEORIE

Verticale wand, horizontale aanvulling: andere oplossingen (alle $P_p = \frac{1}{2}K_p\gamma H^2$): Shields–Tolunay (lamellenmethode, tabel), Sokolowskiĭ (karakteristieken, tabel), Zhu–Qian (driehoeklamel, tabel) en de gesloten oplossing (ondergrens) van **Lancellotta (2002)**:

$$K_p = \frac{\cos\delta'}{1-\sin\varphi'}\left(\cos\delta' + \sqrt{\sin^2\varphi' - \sin^2\delta'}\right) e^{2\theta\tan\varphi'}\frac{1}{\cos\delta'} \qquad 2\theta = \sin^{-1}\frac{\sin\delta'}{\sin\varphi'} + \delta'$$

φ′	δ′	Log. spiraal	Lancellotta	Coulomb
20°	10°	2.56	2.52	2.64
20°	20°	3.07	2.87	3.53
30°	15°	4.61	4.44	4.98
30°	30°	6.68	5.80	10.10
40°	20°	9.67	8.92	11.77
40°	40°	18.86	14.39	92.59



Lancellotta is de ondergrens, de logaritmische spiraal de bovengrens; de methode der karakteristieken ligt tussen beide, zeer dicht bij de spiraal.

Coulomb geeft te hoge waarden bij grote δ′ (φ′ = δ′ = 40°: 92.6).

Opgave

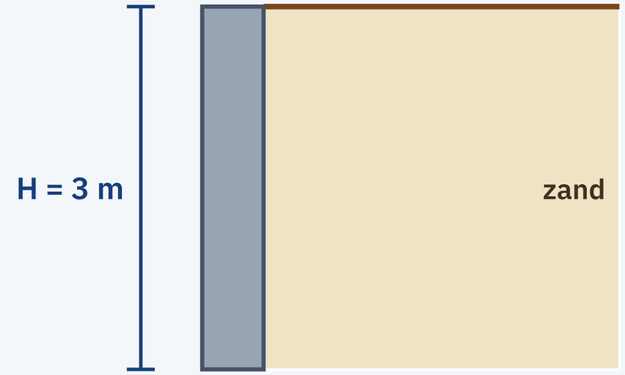
VOORBEELD

GEVRAAGD

De K_p van **Lancellotta** stap voor stap; de P_p-waarden van de vijf oplossingen en hun rangorde.

Gegeven

Wand en grond	**Keermuur uit voorbeeld 2:** $H = 3$ m, $\gamma = 15.7\ \mathrm{kN/m^3}$, $\varphi' = 30°$, $\delta' = 15°$



γ = 15.7 kN/m³, φ′ = 30°, δ′ = 15° (passief)

Oplossing (1/2)

OPLOSSING

1 Lancellotta (ondergrens): 2θ en K_p

$$2\theta = \sin^{-1}\frac{\sin 15^\circ}{\sin 30^\circ} + 15^\circ = 31.17^\circ + 15^\circ = 0.8059\ \text{rad}$$

$$K_p = \frac{\cos 15^\circ}{1-\sin 30^\circ}\left(\cos 15^\circ + 0.4278\right) e^{0.8059\tan 30^\circ}\frac{1}{\cos 15^\circ} = \mathbf{4.439}$$

Oplossing (2/2)

OPLOSSING

2 Vijf oplossingen ($P_p = ½K_p(15.7)(9) = 70.65\ K_p$)

Oplossing	K_p	P_p (kN/m)
Coulomb (1776), vlak glijvlak	4.977	351.6
Terzaghi & Peck (logaritmische spiraal)	4.615	326.0
Shields & Tolunay (1973)	4.280	302.4
Zhu & Qian (2000)	4.575	323.2
Lancellotta (2002)	4.439	313.6

De vlakke Coulomb-oplossing geeft de grootste waarde (351.6 kN/m); oplossingen met een gebogen oppervlak clusteren in het bereik **302–326 kN/m**. Lancellotta (ondergrens) geeft 313.6, de logaritmische spiraal (bovengrens) 326.0 kN/m.

Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

Opgave

VOORBEELD

Gegeven

Grond	**zand, $\varphi' = 30^\circ$; verticale wand, horizontale aanvulling**
Variabele	$\delta' = 0^\circ,\ 10^\circ,\ 15^\circ,\ 20^\circ,\ 30^\circ$

GEVRAAGD

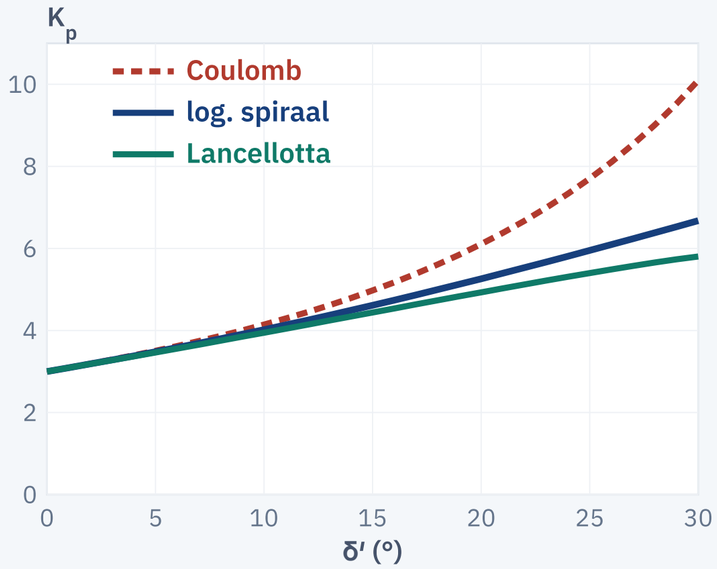
Voor elke δ′ de **K_p** (log. spiraal, Lancellotta, Coulomb) en het overschot ten opzichte van Coulomb.

Oplossing

OPLOSSING

1 Vier methoden voor dezelfde φ′ = 30°

δ′	Log. spiraal	Lancellotta	Coulomb	Coulomb / spiraal
0°	3.000	3.000	3.000	1.00
10°	4.020	3.946	4.143	1.03
15°	4.615	4.439	4.977	1.08
20°	5.260	4.930	6.105	1.16
30°	6.677	5.804	10.095	1.51



Bij δ′ = 0 zijn alle drie gelijk aan Rankine (3.00); naarmate δ′ toeneemt, overschrijdt de Coulomb-spiraal die snel: 8% meer bij δ′ = 15°, 51% meer bij δ′ = 30° (onveilig). In de praktijk wordt voor de passieve weerstand ofwel de logaritmische spiraal ofwel δ′ ≤ φ′/2 gebruikt.

Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

Hellend rugvlak, hellend maaiveld, bovenbelasting, laag en water

THEORIE

De module breidt de wig van Terzaghi–Peck uit naar een hellende kruin onder θ en een hellend front onder α: het gebied tussen AC en het maaiveld verkeert in de passieve Rankine-toestand van het hellende vlak; de spiraal op AC wordt vanuit O getekend; de spiraal kan ontaarden in een vlak (het vlak van Coulomb is ook een mechanisme; van beide wordt de kleinste waarde genomen).

$$P_p = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 K_{p\gamma} + q_e H K_{pq} \qquad q_e = q\frac{\cos\theta}{\cos(\theta-\alpha)}$$

De bijdragen van het grondgewicht (H/3) en de bovenbelasting (H/2) worden gevonden uit hun eigen kleinste proefwig. In een **gelaagde** aanvulling neemt elke laag haar eigen $K_{p\gamma}$, K_{pq}-waarde; het gewicht van de bovenliggende grond werkt als bovenbelasting; **onder water** worden γ′ en u loodrecht op het rugvlak opgeteld:

$$\sigma'_p = \left[K_{pq}\sigma'_{v,top} + K_{p\gamma}\left(\sigma'_v - \sigma'_{v,top}\right)\right]\cos\theta$$

Geval (δ′ = φ′ = 30°)	K_p-grafieken (Caquot–Kerisel)	K_p-module	Verschil
θ = 20°	3.84	3.82	−0.6 %
θ = 30°	2.76	2.80	+1.6 %
α/φ′ = 0.4 (α = 12°)	10.60	10.22	−3.6 %
α/φ′ = 0.8 (α = 24°)	15.10	14.51	−3.9 %

$K_p = K_{p\gamma}\cos^2\theta$ (bij Caquot–Kerisel wordt in plaats van H de ruglengte $H_1 = H/\cos\theta$ genomen). Deze gelaagde uitbreiding is de technische uitbreiding van de module.

CAQUOT – KERISEL R′

De grafieken van Caquot–Kerisel gelden voor δ′ = φ′; voor andere δ′ geldt $K_p = R' K_{p(\delta'=\varphi')}$. Voor φ′ = 30°, δ′/φ′ = 0.5 is R′ = 0.746.

Opgave

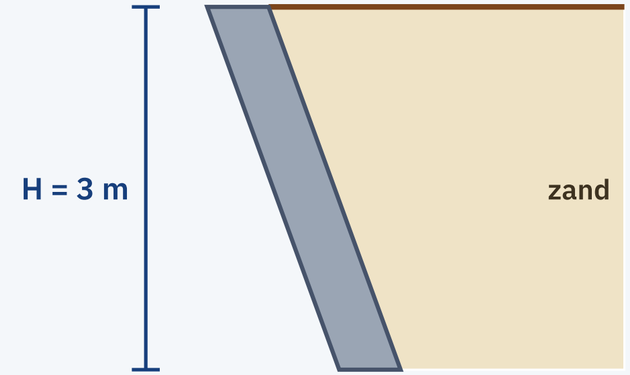
VOORBEELD

Gegeven

Wand	$H = 3$ m; rug hellend onder $\theta = 20^\circ$ ten opzichte van de verticaal; horizontale aanvulling
Grond	droog zand: $\gamma = 15.7\ \mathrm{kN/m^3}$, $\varphi' = 30^\circ$; $\delta' = 30^\circ = \varphi'$

GEVRAAGD

$K_{p\gamma}$, P_p; vergelijking met K_p uit het nomogram; vergelijking met een muur met verticale rug.



θ = 20°, φ′ = 30°, δ′ = 30° (passief)

Oplossing

OPLOSSING

1 Spiraalcoëfficiënt (module; δ′ = φ′ = 30°, θ = 20°)

$$K_{p\gamma} = \mathbf{4.321} \qquad K_{pq} = 4.127$$

2 Vergelijking met kracht en grafiek

$$P_p = \tfrac{1}{2} K_{p\gamma} \gamma H^2 = \tfrac{1}{2}(4.321)(15.7)(9) = \mathbf{305.3}\ \mathrm{kN/m}$$

$$K_p = K_{p\gamma} \cos^2 20^\circ = 4.321(0.8830) = \mathbf{3.82}\ (\text{grafiek } 3.84)$$

P_p = **305.3 kN/m**; voor een muur met een verticale rug in dezelfde grond (θ = 0, δ′ = 30°) zou de waarde 471.8 kN/m zijn: een rug onder 20° helling **verlaagt** de passieve weerstand met 35%. Verschil met de abacus: 0.6%.

Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

Opgave

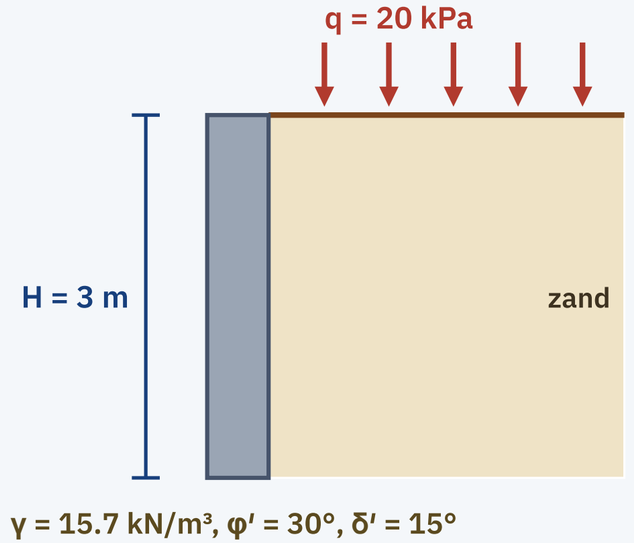
VOORBEELD

Gegeven

Wand en grond	**Keermuur uit voorbeeld 2:** $H = 3$ **m,** $\gamma = 15.7\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 30°,\ \delta' = 15°$
Bovenbelasting	$q = 20$ **kPa (op horizontaal vlak)**

GEVRAAGD

Aandelen van grond en bovenbelasting, totaal $\mathbf{P_p}$ en $\bar{\mathbf{z}}$.



Oplossing

OPLOSSING

1 Coëfficiënten (module, δ′ = 15°)

$$K_{p\gamma} = \mathbf{4.615} \qquad K_{pq} = \mathbf{4.532} \qquad q_e = 20\ \mathrm{kPa}$$

2 Krachten: grond (momentarm H/3 = 1.00 m) + bovenbelasting (momentarm H/2 = 1.50 m)

$$P_\gamma = \tfrac{1}{2} K_{p\gamma} \gamma H^2 = 326.03\ \mathrm{kN/m}$$

$$P_q = K_{pq} q_e H = 4.532(20)(3) = 271.90\ \mathrm{kN/m}$$

3 Totaal en aangrijpingspunt

$$P_p = 326.03 + 271.90 = \mathbf{597.94}\ \mathrm{kN/m}$$

$$\bar{z} = \frac{326.03(1.00) + 271.90(1.50)}{597.94} = \mathbf{1.23}\ \mathrm{m}$$

P_p = **597.9 kN/m**, $\bar{z}$ = **1.23 m** (1.00 m zonder bovenbelasting); het aandeel van de bovenbelasting is 83% van de grond.

Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

Opgave

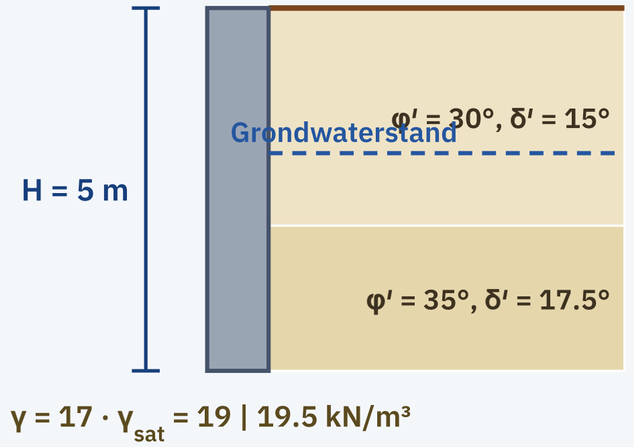
VOORBEELD

Gegeven

Wand	$H = 5$ **m, verticaal; horizontale aanvulling; geen bovenbelasting**
Laag 1 (0–3 m)	$\gamma = 17,\ \gamma_{sat} = 19\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 30^\circ,\ \delta' = 15^\circ$
Laag 2 (3–5 m)	$\gamma = 17,\ \gamma_{sat} = 19.5\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 35^\circ,\ \delta' = 17.5^\circ$
Grondwater	**op 2 m diepte**

GEVRAAGD

De druksprong op de laaggrens, de componenten, **P**, β en **z̄**.



Oplossing (1/2)

OPLOSSING

1 Coëfficiënten (module)

$$\text{laag 1: } K_{p\gamma} = 4.615$$

$$\text{laag 2: } K_{p\gamma} = 6.522,\ K_{pq} = 6.351$$

2 Spanningen: σ′$_v$(2) = 34; σ′$_v$(3) = 43.19; σ′$_v$(5) = 62.57 kPa

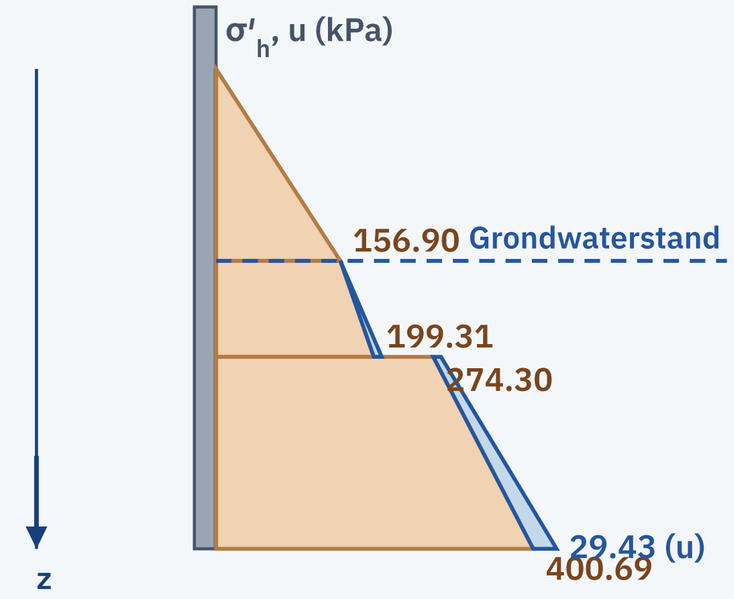
$$p(2) = 4.615(34) = 156.90$$

$$p(3^-) = 4.615(43.19) = 199.31$$

$$p(3^+) = K_{pq}\sigma'_v(3) = 6.351(43.19) = \mathbf{274.30}$$

$$p(5) = 274.30 + 6.522(19.38) = \mathbf{400.69}\ \text{kPa}$$

$$u(5) = \mathbf{29.43}\ \text{kPa}$$



Oplossing (2/2)

OPLOSSING

3 Krachten en componenten langs de rug (met laag-δ′)

$$P_s = 335.0 + 675.0 = 1{,}010.0 \text{ kN/m}$$

$$N_s = 967.3 \qquad T = 289.7 \text{ kN/m}$$

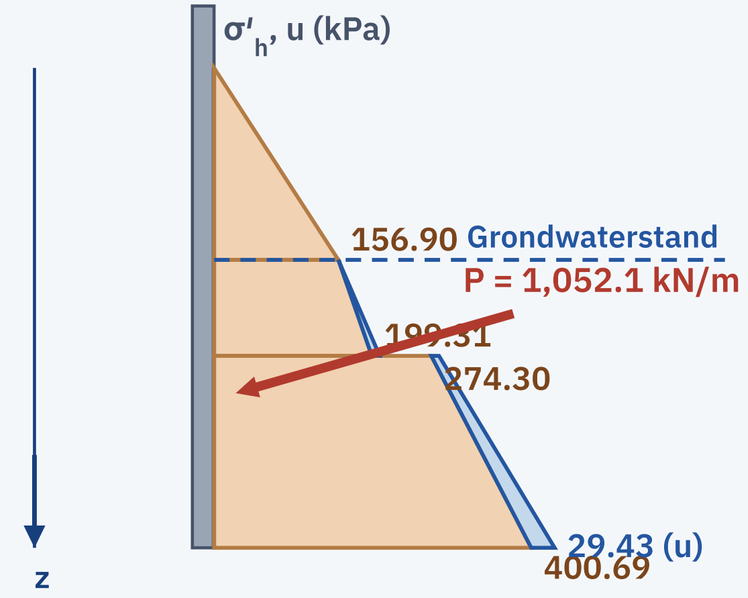
$$N_w = \tfrac{1}{2}(29.43)(3) = 44.15 \text{ kN/m (loodrecht op de nok)}$$

4 Resultante en aangrijpingspunt

$$N = N_s + N_w = 1{,}011.5 \qquad P = \sqrt{N^2 + T^2} = \mathbf{1{,}052.1} \text{ kN/m}$$

$$\beta = \tan^{-1}\frac{T}{N} = 15.98^\circ \qquad \bar{z} = \mathbf{1.61} \text{ m}$$

P = **1,052.1 kN/m**, β = 16.0°, 1.61 m boven de voet. Het aandeel van het water bedraagt slechts 44.1 kN/m (4%): bij passieve druk is de grondweerstand zeer groot ten opzichte van het water; in de grenstoestand springt p van 199.3 naar 274.3 kPa.



Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

Scope van de oplossing

THEORIE

Niet-samenhangende grond (c′ = 0); voor cohesieve passieve druk zie de modules Rankine en Coulomb.

De logaritmische spiraal is de bovengrens, Lancellotta de ondergrens; de werkelijke weerstand ligt tussen beide in. Het vlakke Coulomb-model is onveilig bij grote δ′.

De **veralgemeende wig** (hellend rugvlak, hellend maaiveld, laag, water, bovenbelasting) is de technische uitbreiding van de module; er bestaat geen gesloten gelaagde oplossing; de aandelen van het grondgewicht en de bovenbelasting worden uit hun eigen minimale wiggen bepaald.

Geldigheid: α < φ′; de rug en het maaiveld moeten elkaar onder een voldoende hoek snijden; als de spiraal uit de grond treedt of in de verkeerde richting draait, is er geen mechanisme (het vlak is het grenssituatie).

Voor een **aardbeving** wordt de seismisch-passieve module gebruikt.

Samenvatting

Belangrijkste punten

In de passieve toestand is een vlakke wig onveilig: bij wandwrijving is het bezwijkvlak bij de hiel gekromd (spiraal) en nabij het maaiveld vlak (Rankine-zone)

Spiraal: $r = r_0 e^{\omega \tan \varphi'}$; elke straal snijdt de kromme onder φ', de resultante gaat door O; oppervlak $(r_1^2 - r_0^2)/(4 \tan \varphi')$

Terzaghi–Peck: $P = (W\, l_W + P_d\, l_1)/l_P$; de P in de **kleinste** proefwig is de passieve kracht; $K_p = 2P_p/(\gamma H^2)$

Lancellotta (ondergrens, gesloten oplossing), spiraal (bovengrens); Coulomb geeft 5 keer meer bij $\varphi' = \delta' = 40°$

Gegeneraliseerde wig: $P = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 K_{p\gamma} + q_e H K_{pq}$; $K_p = K_{p\gamma}\cos^2\theta$ (definitie volgens grafiek); laag voor laag $\sigma' = [K_{pq}\sigma'_{v,\text{boven}} + K_{p\gamma}(\sigma'_v - \sigma'_{v,\text{boven}})]\cos\theta$

Voorbeeldmuur ($H = 3$ m, $\varphi' = 30°$, $\delta' = 15°$): Coulomb 351.6 · spiraal 326.0 · Lancellotta 313.6 kN/m

Literatuur

Das, B.M. (2018). Principles of Geotechnical Engineering, 9th ed. Cengage Learning.

Terzaghi, K. and Peck, R.B. (1967). Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd ed. Wiley, New York.

Shields, D.H. and Tolunay, A.Z. (1973). Passive pressure coefficients by method of slices. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 99(SM12), 1043–1053.

Lancellotta, R. (2002). Analytical solution of passive earth pressure. Géotechnique, 52(8), 617–619.

Sokolowskiĭ, V.V. (1965). Statics of Granular Media. Pergamon, London.

Zhu, D.Y. and Qian, Q. (2000). Determination of passive earth pressure coefficients by the method of triangular slices. Canadian Geotechnical Journal, 37(2), 485–491.

Caquot, A. and Kerisel, J. (1948). Tables for the Calculation of Passive Pressure, Active Pressure and Bearing Capacity of Foundations. Gauthier-Villars, Paris.

Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage Learning.

OPMERKING

Alle numerieke voorbeelden zijn gegenereerd met de eigen berekeningsmotor van de module; de module geeft dezelfde waarden. De module opent met de keermuur uit Voorbeeld 2-3 (H = 3 m, δ′ = 15°).

GeoTerva

Online geotechnische berekeningen

Van theorie naar praktijk

Voer de rugvlakhelling, de aanvullingshelling, de lagen, de bovenbelasting en het grondwater van uw eigen muur in GeoTerva in; de module geeft de maatgevende spiraal, P_p en de hoogte van de resultante samen.

Module openen →

Theoriepagina →

Openen op de smartphone

Proefmodules vereisen geen registratie.

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