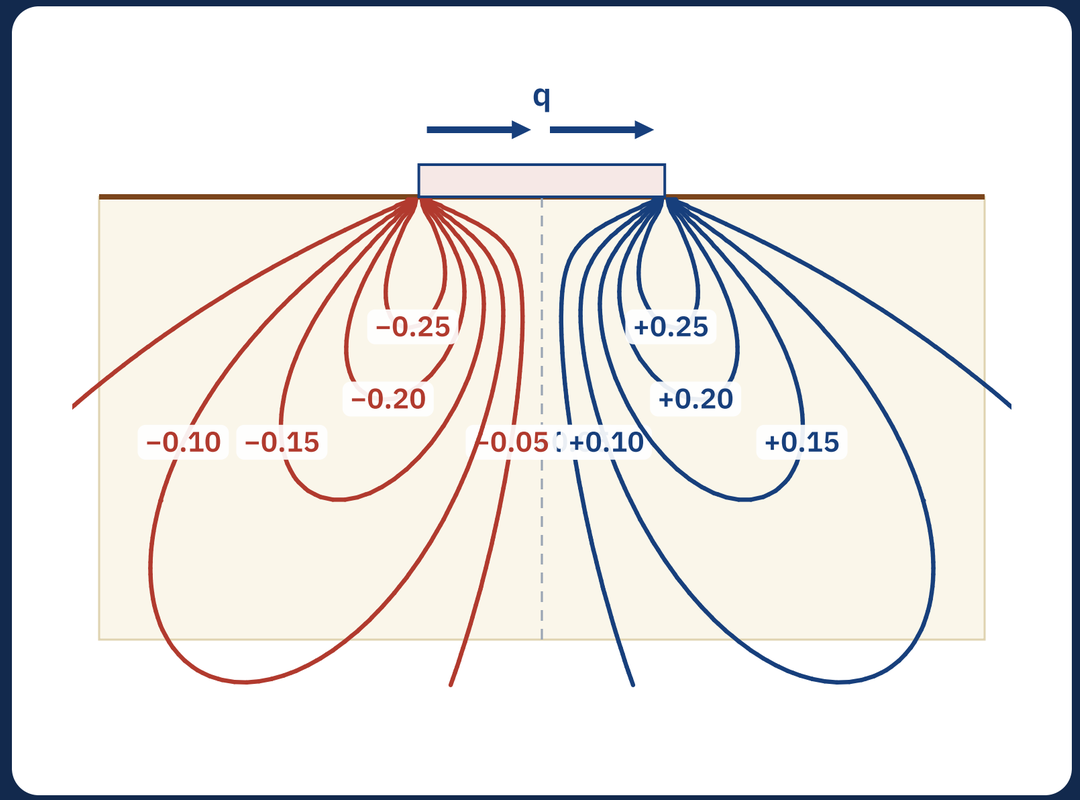
Geotechnisch college · Spanningen in de ondergrond

Spanning onder een horizontale strookbelasting

College: horizontale en schuine strookbelastingen die langs het maaiveld drukken; een punt handmatig, helling, diepte en horizontale profielen.

- Integraal van de horizontale lijnlast
- Hellende belasting = verticaal + horizontaal
- Toename aan de voorzijde, afname aan de achterzijde
- Superpositie
- Met de hand oplosbaar



Wat leren we in dit college?

De verticale spanningstoename onder een **horizontale** en **schuine** strookbelasting langs het maaiveld: de integraal van de horizontale lijnbelasting over de breedte van de strook

De vergelijking van de horizontale strook en dat de spanning **een functie van x alleen** is: toename vóór de belasting, afname erachter, nul onder de as

De schuine belasting ontbinden in de componenten $\mathbf{q_v = q \cos \alpha}$ en $\mathbf{q_h = q \sin \alpha}$ en de oplossingen voor de verticale en horizontale strook **superponeren**

Eén punt **volledig met de hand** (A vóór en B achter de belasting); de invloed van de hellingshoek, de diepte en meerdere stroken met tabellen

COLLEGESTRUCTUUR

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

1 · **Theorie**: formule en onderbouwing

2 · **Opgave**: gegeven en gevraagd

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

Voorbeeld: q = 150 kN/m², hellend onder α = 30° ten opzichte van de verticaal; B = 3 m; punt A op x = +2.25 m, z = 3 m.

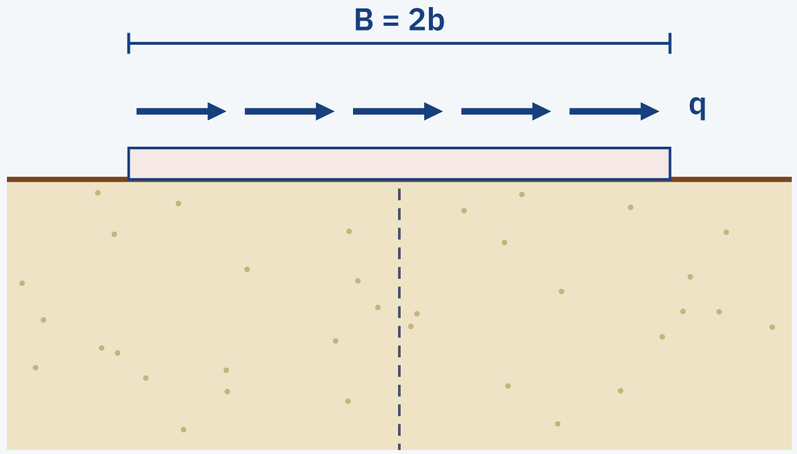
Een strookbelasting drukt ook langs het oppervlak

THEORIE

Wrijving onder een wegglijdende fundering, de stuwdruk op de zool van een keermuur, de remkracht van voertuigen op een weg: een strook **duwt** ook langs het oppervlak

De module geeft de verticale spanningstoename onder een **flexibele strook** met een gelijkmatig verdeelde horizontale druk q en, door **superpositie**, onder een schuine strook; de strook heeft breedte B = 2b en is oneindig lang (vlakke vervormingstoestand)

De grond is een **homogene, isotrope, lineair elastische** halve ruimte. $\Delta\sigma_z$ is uitsluitend de toename van de belasting en **kan negatief zijn** (een afname)



Doorsnede: de horizontale belasting drukt in de +x-richting; de strook strekt zich oneindig uit in de y-richting

Van horizontale lijnlast naar strookbelasting

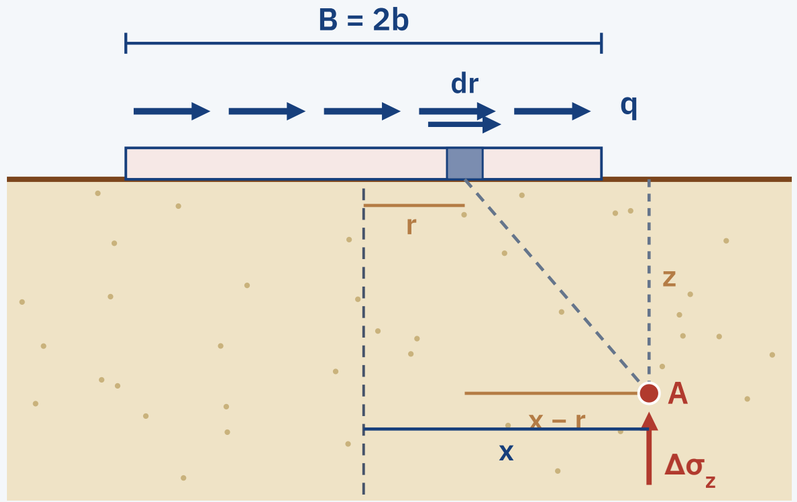
THEORIE

Zoals bij de verticale strook draagt de elementaire strook met breedte dr per eenheid van lengte **q dr** en gedraagt zich als een **horizontale lijnbelasting** die in de +x-richting werkt

$$d\sigma_z = \frac{2\,(q\,dr)\,(x-r)\,z^2}{\pi\,[(x-r)^2+z^2]^2}$$

Als u = x − r wordt genomen, is de primitieve functie −1/(u² + z²). Over het interval −b ≤ r ≤ b reduceert de integraal tot het verschil van twee lijnlasten:

$$\Delta\sigma_z = \frac{q\,z^2}{\pi}\left[\frac{1}{(x-b)^2+z^2} - \frac{1}{(x+b)^2+z^2}\right]$$



$\Delta\sigma_z = 4bqxz^2 / \{\pi[(x^2 + z^2 - b^2)^2 + 4b^2z^2]\}$

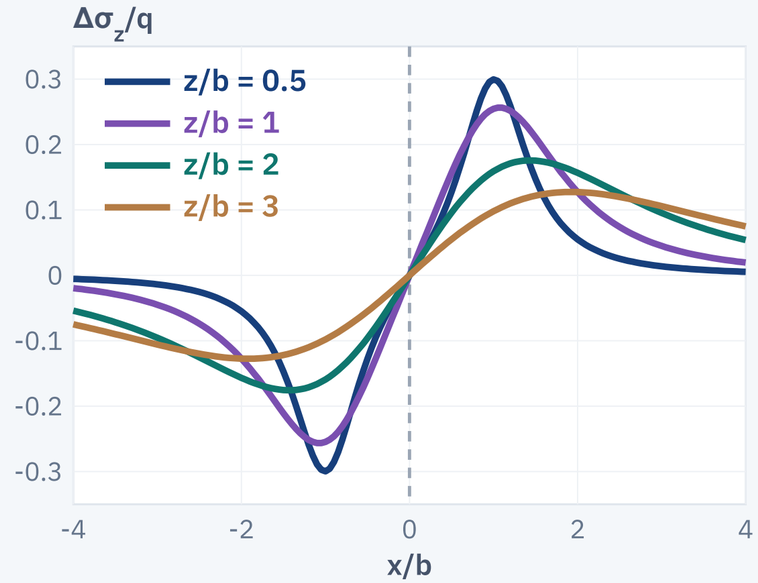
THEORIE

Het product van de twee noemers wordt (x² + z² – b²)² + 4b²z²; de **vergelijking van de horizontale strook** wordt verkregen (b = B/2):

$$\Delta\sigma_z = \frac{4\,b\,q\,x\,z^2}{\pi\,[(x^2+z^2-b^2)^2+4b^2z^2]} \qquad \frac{\Delta\sigma_z}{q} = \frac{4XZ^2}{\pi\,[(X^2+Z^2-1)^2+4Z^2]}$$

De spanning is een **enkele functie** van x: even groot en tegengesteld van teken in de punten +x en –x. **Voor** de belasting wordt de grond naar beneden gedrukt, **achter** de belasting omhoog geheven; onder de as van de strook is zij op elke diepte nul

Met X = x/b, Z = z/b geldt **één enkele familie van krommen** voor elke q en B. Numerieke verificatie (q = 100, B = 4, x = 1, z = 1): de integraal van de horizontale lijnbelasting langs de strook geeft **12.7324 kPa**, de vergelijking **12.7324 kPa**



Spanning van de horizontale strook: de belasting drukt in de +x-richting

Schuine belasting = verticale component + horizontale component

THEORIE

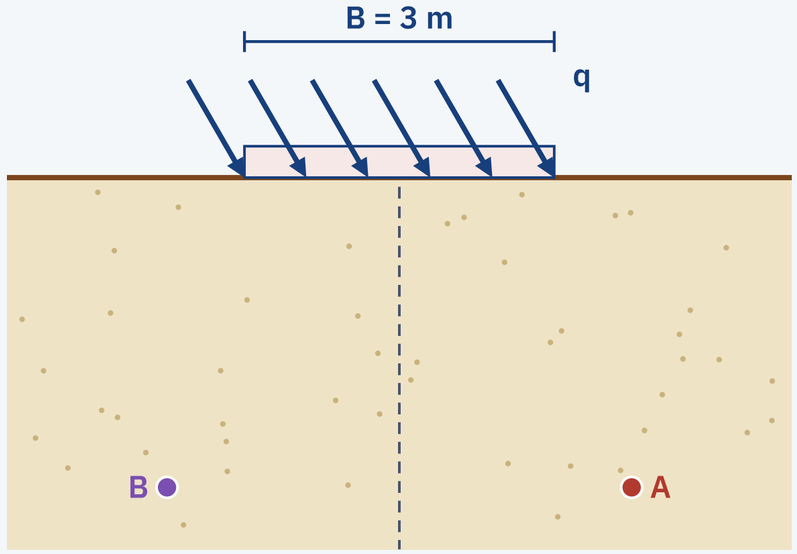
De schuine belasting is de druk q die onder een hoek **α** met de verticaal aangrijpt (α is positief in de +x-richting; α = 90° is volledig horizontaal, α = 0 is een verticale strook)

$$q_v = q \cos \alpha \qquad q_h = q \sin \alpha$$

De verticale component geeft de spanning van de **verticale strook**, de horizontale component die van de **horizontale strook**; beide worden gesuperponeerd

$$\Delta\sigma_z = \Delta\sigma_{z(v)} + \Delta\sigma_{z(h)} \qquad \Delta\sigma_{z(v)} = q_v\, I_v \qquad \Delta\sigma_{z(h)} = q_h\, I_h$$

I_v is een even functie en I_h een oneven functie van x: in punt A vóór de belasting wordt de horizontale component **opgeteld**, in punt B erachter **afgetrokken**



q = 150 kN/m², α = 30°, B = 3 m; A voor, B achter (x = ±2.25 m, z = 3 m)

Horizontale strook: waarden $\Delta\sigma_z/q_h$

THEORIE

z/b \ x/b	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0
0.25	0.0000	0.0551	0.3134	0.0605	0.0165	0.0070	0.0037	0.0014
0.50	0.0000	0.1273	0.2996	0.1469	0.0551	0.0255	0.0138	0.0055
1.00	0.0000	0.1567	0.2546	0.2107	0.1273	0.0739	0.0449	0.0196
1.50	0.0000	0.1273	0.2037	0.2022	0.1567	0.1098	0.0753	0.0374
2.00	0.0000	0.0959	0.1592	0.1754	0.1567	0.1254	0.0955	0.0540
3.00	0.0000	0.0551	0.0979	0.1219	0.1273	0.1198	0.1058	0.0749
4.00	0.0000	0.0343	0.0637	0.0845	0.0959	0.0988	0.0955	0.0795

$\Delta\sigma_{z(h)} = q_h \cdot$ (tabelwaarde) voor $x > 0$; in punten met $x < 0$ is de waarde gelijk, met tegengesteld teken. De kolom $x = 0$ is op elke diepte nul; de piekwaarde neemt af met de diepte en verwijdert zich van de as van de strook.

Superpositie

THEORIE

Omdat de grond **elastisch** is, wordt de spanning van elke strook afzonderlijk bepaald en gesommeerd. Elke strook wordt gedefinieerd door zijn eigen q, helling α, breedte B en hartlijn; in de module kunnen maximaal acht stroken worden ingevoerd

De stroken **mogen elkaar niet overlappen** (aan de rand mogen ze elkaar raken). De spanning voor elke strook wordt bepaald met **de eigen x-waarde**, dat wil zeggen de afstand van punt A tot de hartlijn van die strook; de verticale en horizontale componenten kunnen ook afzonderlijk worden gesommeerd

$$\Delta\sigma_z = \sum_k \left(q_{v,k} I_{v,k} + q_{h,k} I_{h,k}\right) \qquad x_k = x_A - x_{c,k}$$

Als de horizontale belasting van een strook in de −x-richting werkt (α < 0), is q_h negatief: het vooroplopende punt is dan het punt aan de **−x**-zijde van de strook

Opgave

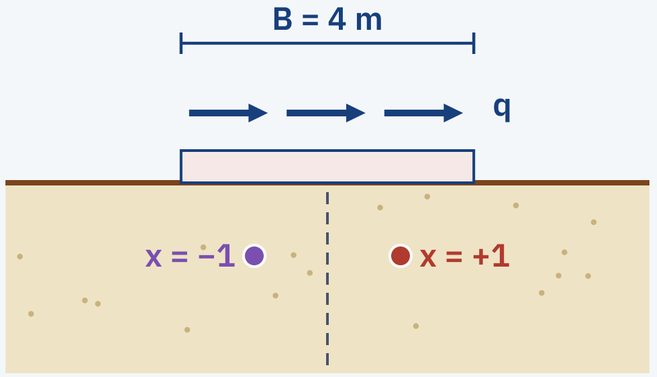
VOORBEELD

Gegeven

Strookbelasting	**Flexibel, horizontaal (in de richting $+x$): $q = 100$ kN/m², $B = 4$ m ($b = B/2 = 2$ m); aslijn $x = 0$**
Punten	**op $z = 1$ m diepte, $x = +1$ m (voor de belasting) en $x = -1$ m (erachter)**

GEVRAAGD

$\Delta\sigma_z$ en **$\Delta\sigma_z/q$**: met de gesloten vergelijking van de strook; verificatie met de **differentievorm**.



Oplossing (1/2)

OPLOSSING

1 Grootheden in de noemer (b = B/2 = 2 m)

$$x^2 + z^2 - b^2 = 1 + 1 - 4 = -2$$

$$(x^2 + z^2 - b^2)^2 + 4b^2z^2 = 4 + 4(4)(1) = \mathbf{20}$$

2 Invloedswaarde en spanning

$$\frac{\Delta\sigma_z}{q} = \frac{4b\,x\,z^2}{\pi\,[\ldots]} = \frac{4(2)(\pm1)(1)^2}{\pi\,(20)} = \pm\frac{8}{\pi\,(20)} = \pm\mathbf{0.1273}$$

$$\Delta\sigma_z = \pm 0.1273\,(100) = \pm\mathbf{12.73}\ \mathrm{kPa}$$

x = +1 m (voor de belasting): $\Delta\sigma_z$ = **+12.73 kPa**, de grond wordt naar beneden gedrukt. **x = −1 m** (erachter): **−12.73 kPa**, de spanning neemt af. Onder de as geldt op elke diepte $\Delta\sigma_z$ = 0.

Oplossing (2/2)

OPLOSSING

3 Verschilvorm, x = +1 m

$$\Delta\sigma_z = \frac{q\,z^2}{\pi}\left[\frac{1}{(x-b)^2+z^2} - \frac{1}{(x+b)^2+z^2}\right] = \frac{100}{\pi}\left[\frac{1}{2} - \frac{1}{10}\right] = \frac{100}{\pi}(0.4) = \mathbf{12.73}\ \text{kPa}$$

4 Verschilvorm, x = −1 m

$$\Delta\sigma_z = \frac{100}{\pi}\left[\frac{1}{(-1-2)^2+1} - \frac{1}{(-1+2)^2+1}\right] = \frac{100}{\pi}\left[\frac{1}{10} - \frac{1}{2}\right] = -\mathbf{12.73}\ \text{kPa}$$

Beide vormen geven **dezelfde waarde**: ±12.73 kPa. De module (α = 90°) geeft dezelfde waarde; het teken volgt alleen uit het feit of het punt vóór of achter de belasting ligt.

Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

Opgave

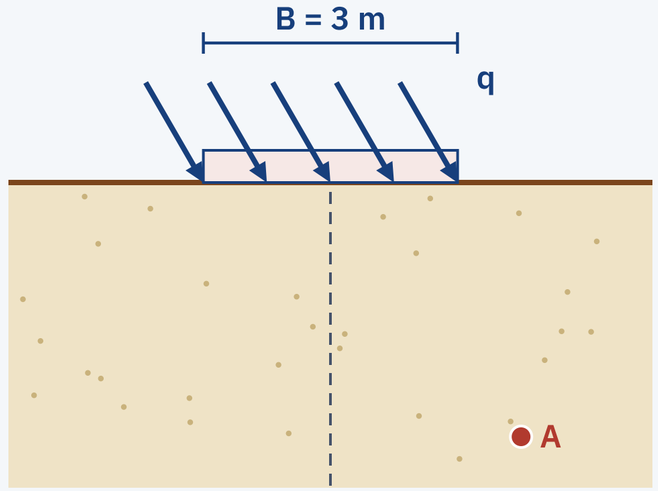
VOORBEELD

Gegeven

Strookbelasting	**Flexibel, onder $\alpha = 30°$ hellend ten opzichte van de verticaal (in de richting $+x$): $q = 150$ kN/m², $B = 3$ m ($b = 1.5$ m); aslijn $x = 0$**
Punt A	**Voor de belasting: $x = +2.25$ m, $z = 3$ m ($x/b = 1.5$; $z/b = 2$)**

GEVRAAGD

$\Delta\sigma_{z(v)}$, $\Delta\sigma_{z(h)}$ en totaal **$\Delta\sigma_z$**: door de belasting in haar componenten te ontbinden.



Oplossing (1/3)

OPLOSSING

1 Componenten van de belasting en dimensieloze afstanden

$$q_v = 150\cos 30^\circ = \mathbf{129.90}\ \text{kPa} \qquad q_h = 150\sin 30^\circ = \mathbf{75.00}\ \text{kPa}$$

$$\frac{x}{b} = \frac{2.25}{1.5} = 1.5 \qquad \frac{z}{b} = \frac{3}{1.5} = 2$$

2 Verticale component: arctangenten en algebraïsche term (x – b = 0.75 m; x + b = 3.75 m)

$$A_1 = \tan^{-1}\frac{3}{0.75} = 1.3258 \qquad A_2 = \tan^{-1}\frac{3}{3.75} = 0.6747$$

$$T = \frac{3(3)\,(5.0625 - 9 - 2.25)}{(5.0625 + 9 - 2.25)^2 + 9(9)} = \frac{-55.6875}{220.535} = -0.2525$$

Punt A ligt **buiten** de strook (x = 2.25 m > b = 1.5 m): de twee arctangenten worden rechtstreeks genomen, een π-correctie is niet nodig.

Oplossing (2/3)

OPLOSSING

3 Spanning door de verticale component

$$I_v = \frac{1}{\pi}\left[A_1 - A_2 - T\right] = \frac{1}{\pi}\left[1.3258 - 0.6747 - (-0.2525)\right] = \mathbf{0.2876}$$

$$\Delta\sigma_{z(v)} = 0.2876\,(129.90) = \mathbf{37.36}\ \text{kPa}$$

4 Spanning door de horizontale component (b = 1.5 m)

$$x^2 + z^2 - b^2 = 5.0625 + 9 - 2.25 = 11.8125 \qquad 4b\,x\,z^2 = 4(1.5)(2.25)(9) = 121.5$$

$$I_h = \frac{121.5}{\pi\left[(11.8125)^2 + 4(2.25)(9)\right]} = \frac{121.5}{\pi\,(220.535)} = \mathbf{0.1754}$$

$$\Delta\sigma_{z(h)} = 0.1754\,(75.00) = \mathbf{13.15}\ \text{kPa}$$

Omdat de belasting onder 30° helt, veroorzaken de **verticale component van 37.36 kPa** en de **horizontale component van 13.15 kPa** een spanning; het effect van de horizontale component in A is positief (aan de voorzijde).

Oplossing (3/3)

OPLOSSING

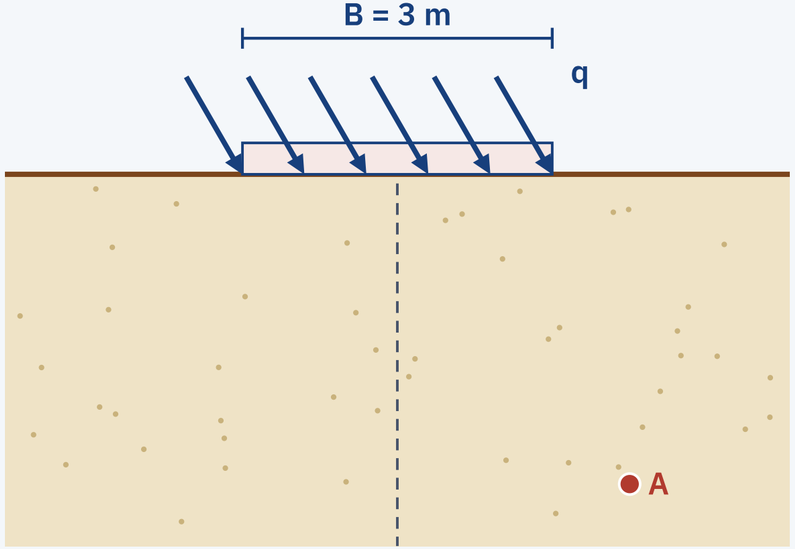
5 Superpositie

$$\Delta\sigma_z = \Delta\sigma_{z(v)} + \Delta\sigma_{z(h)} = 37.36 + 13.15 = \mathbf{50.52}\ \text{kPa}$$

6 Verificatie voor de horizontale component met de differentievorm

$$I_h = \frac{z^2}{\pi}\left[\frac{1}{(x-b)^2+z^2} - \frac{1}{(x+b)^2+z^2}\right]$$

$$= \frac{9}{\pi}\left[\frac{1}{9.5625} - \frac{1}{23.0625}\right] = \mathbf{0.1754}$$



$\Delta\sigma_z$ = 50.52 kPa; de module geeft dezelfde waarde (verticaal 37.36, horizontaal 13.15). Als de verticale belasting 150 kPa was geweest (α = 0), zou in A slechts 43.14 kPa optreden.

Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

Opgave

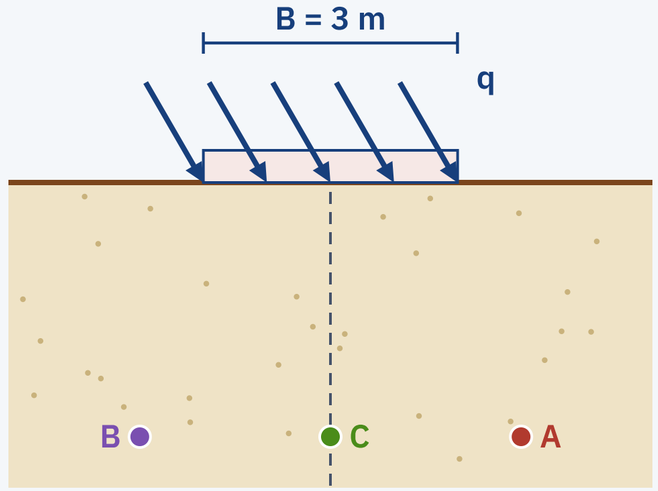
VOORBEELD

Gegeven

Strookbelasting	**De strookbelasting uit Voorbeeld 2: $q = 150$ kN/m², $B = 3$ m, $\alpha = 30°$**
Punten	**B: $x = -2.25$ m (achter de belasting); C: $x = 0$ (as); $z = 3$ m**
Hellingshoek	$\alpha = 0,\ 15°,\ 30°,\ 45°,\ 60°,\ 75°,\ 90°$ **(bij A en B)**

GEVRAAGD

$\Delta\sigma_z$ in de punten **B** en **C** via symmetrie; de verandering van de spanning in A en B wanneer α verandert.



Oplossing (1/2)

OPLOSSING

1 Punt B (x = −2.25 m): verticale component dubbel, horizontale component enkel

$$\Delta\sigma_{z(v)}(B) = \Delta\sigma_{z(v)}(A) = 37.36\ \text{kPa} \qquad \Delta\sigma_{z(h)}(B) = -\Delta\sigma_{z(h)}(A) = -13.15\ \text{kPa}$$

$$\Delta\sigma_z(B) = 37.36 + (-13.15) = \mathbf{24.21}\ \text{kPa}$$

2 Punt C (as, x = 0): horizontale component nul; verticale component volgens de formule onder de as

$$I_v = \frac{2}{\pi}\left[\tan^{-1}\frac{b}{z} + \frac{bz}{b^2+z^2}\right] = \frac{2}{\pi}\left[0.4636 + 0.4000\right] = 0.5498$$

$$\Delta\sigma_z(C) = 0.5498\,(129.90) = \mathbf{71.42}\ \text{kPa}$$

Voor de belasting (A) 50.52, **achter** de belasting (B) 24.21, **onder de as** (C) 71.42 kPa: op dezelfde diepte voegt de horizontale component 13.15 kPa toe bij A en vermindert deze met evenveel bij B. De module geeft dezelfde waarden voor A en B.

Oplossing (2/2)

OPLOSSING

α (°)	q_v	q_h	A: $\Delta\sigma_{z(v)}$	A: $\Delta\sigma_{z(h)}$	A: $\Delta\sigma_z$	B: $\Delta\sigma_z$
0	150.00	0.00	43.14	0.00	**43.14**	**43.14**
15	144.89	38.82	41.67	6.81	**48.48**	**34.86**
30	129.90	75.00	37.36	13.15	**50.52**	**24.21**
45	106.07	106.07	30.51	18.60	**49.11**	**11.91**
60	75.00	129.90	21.57	22.78	**44.35**	**−1.21**
75	38.82	144.89	11.17	25.41	**36.58**	**−14.24**
90	0.00	150.00	0.00	26.31	**26.31**	**−26.31**

Naarmate de helling toeneemt, neemt de verticale component af en de horizontale component toe. **Bij A** is het totaal het grootst rond α ≈ 30° (50.5 kPa); bij α = 90° blijft alleen de horizontale component over (26.3 kPa). **Bij B gaat de spanning over in een afname** bij α = 60° met -1.21 kPa en wordt deze −26.3 kPa bij α = 90°.

Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

Opgave

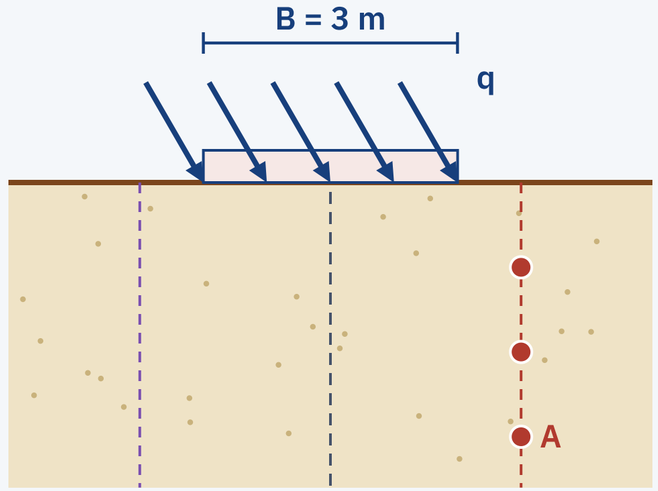
VOORBEELD

Gegeven

Strookbelasting	**De schuine strook uit Voorbeeld 2: $q = 150$ kN/m², $\alpha = 30°$, $B = 3$ m**
Lijnen	**De ordinaat van A is $x = +2.25$ m en de ordinaat van B is $x = -2.25$ m**
Diepte	$z = 0.5$ … 12 m

GEVRAAGD

Variatie van $\Delta\sigma_{z(v)}$, $\Delta\sigma_{z(h)}$ en het totaal met de diepte; de **diepte waarop de horizontale component het grootst is**.

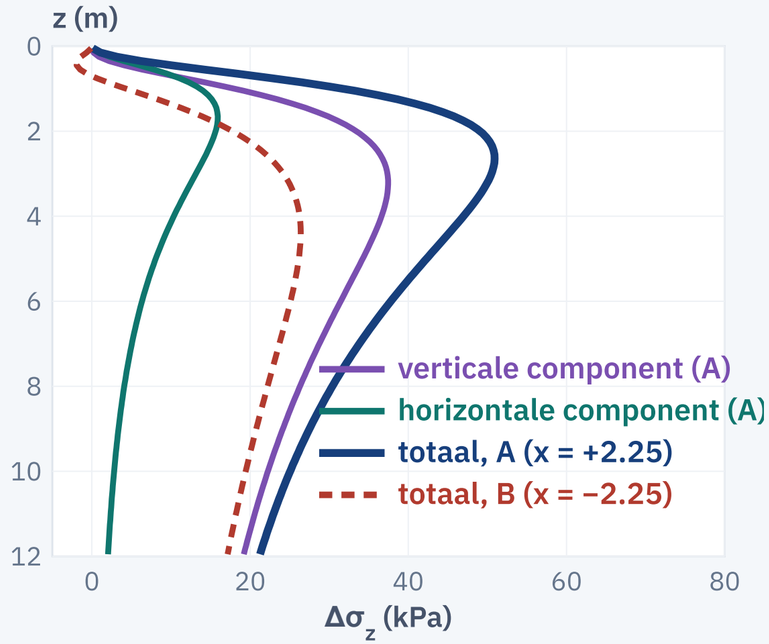


Oplossing

OPLOSSING

z (m)	z/b	A: $\Delta\sigma_{z(v)}$	A: $\Delta\sigma_{z(h)}$	A: $\Delta\sigma_z$	B: $\Delta\sigma_z$
0.5	0.33	5.17	6.93	**12.09**	**−1.76**
1.0	0.67	18.01	13.69	**31.71**	**4.32**
1.5	1.00	27.77	15.81	**43.57**	**11.96**
2.0	1.33	33.43	15.64	**49.08**	**17.79**
3.0	**2.00**	**37.36**	**13.15**	**50.52**	**24.21**
4.0	2.67	36.62	10.36	**46.98**	**26.26**
5.0	3.33	34.23	8.07	**42.30**	**26.16**
6.0	4.00	31.45	6.34	**37.79**	**25.11**
8.0	5.33	26.31	4.09	**30.40**	**22.22**
10.0	6.67	22.25	2.81	**25.06**	**19.44**
12.0	8.00	19.14	2.03	**21.17**	**17.11**

Onder A bereikt de **verticale component** een maximum bij z ≈ 3.25 m (37.5 kPa); de **horizontale component** is het grootst op een kleinere diepte, z ≈ 1.65 m (15.9 kPa), en neemt daarna af als 1/z². Onder B is de spanning nabij het maaiveld negatief (-1.74 kPa bij z = 0.5 m).



Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

Opgave

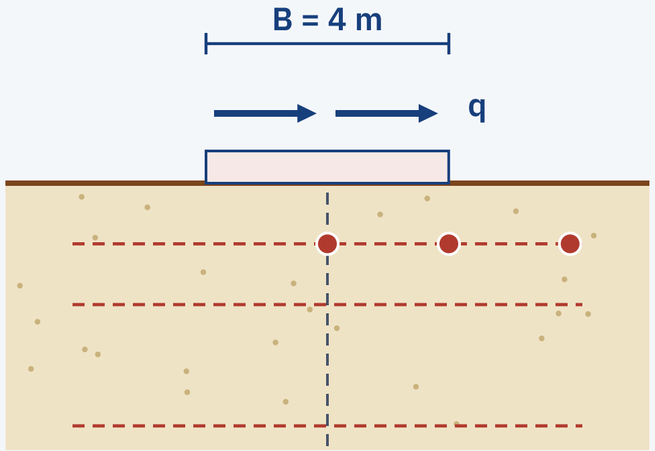
VOORBEELD

Gegeven

Strookbelasting	**Horizontaal: $q = 100$ kN/m², $B = 4$ m ($b = 2$ m), in de richting $+x$**
Lijnen	**Horizontale lijnen op diepte $z = 1,\ 2,\ 4,\ 6$ m; $x = 0, 1, 2, 3, 4, 6, 8$ m**
Handberekening	**Punt $z = 1$ m, $x = 2$ m (rand)**

GEVRAAGD

De variatie van $\Delta\sigma_z$ langs x op elke diepte; de **locatie van de piekwaarde** en hoe de grootte ervan met de diepte verandert.



Oplossing (1/2)

OPLOSSING

1 Grootheden in de noemer (b = 2 m)

$$x^2 + z^2 - b^2 = 4 + 1 - 4 = 1 \qquad (x^2 + z^2 - b^2)^2 + 4b^2z^2 = 1 + 16 = 17$$

$$4b\,x\,z^2 = 4(2)(2)(1) = 16$$

2 Invloedswaarde en spanning

$$\frac{\Delta\sigma_z}{q} = \frac{16}{\pi\,(17)} = \mathbf{0.2996}$$

$$\Delta\sigma_z = 0.2996\,(100) = \mathbf{29.96}\ \mathrm{kPa}$$

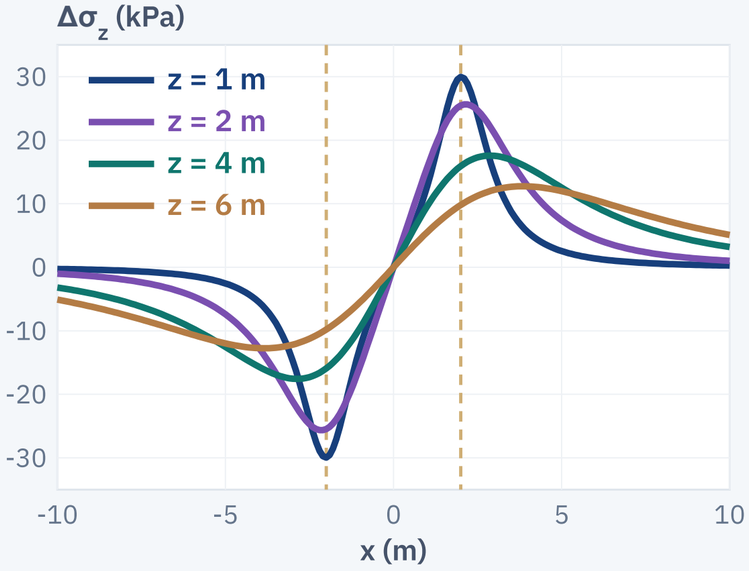
Aan de voorrand van de strook (x = b), op diepte z = 1 m, is $\Delta\sigma_z$ = **29.96 kPa**: dit ligt zeer dicht bij de **topwaarde** op de lijn z = 1 m (x = 2.01 m, 29.96 kPa).

Oplossing (2/2)

OPLOSSING

z (m)	x = 1 m	x = 2 m	x = 3 m	x = 4 m	x = 6 m	x = 8 m	Top: x (m)	Top: $\Delta\sigma_z$
1	12.73	29.96	14.69	5.51	1.38	0.55	**2.01**	**29.96**
2	15.67	25.46	21.07	12.73	4.49	1.96	**2.15**	**25.65**
4	9.59	15.92	17.54	15.67	9.55	5.40	**2.87**	**17.57**
6	5.51	9.79	12.19	12.73	10.58	7.49	**3.84**	**12.75**

De piekwaarde ligt nabij het oppervlak (z = 1 m) met **30.0 kPa**, net onder de rand van de strook; met toenemende diepte **neemt ze af** (12.7 kPa bij z = 6 m) en **verschuift ze van de strook weg** (x = 2.0 m → 3.8 m). De kolom x = 0 is steeds nul; in punten x < 0 zijn de waarden gelijk, met tegengesteld teken (enkele symmetrie).



Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

Opgave

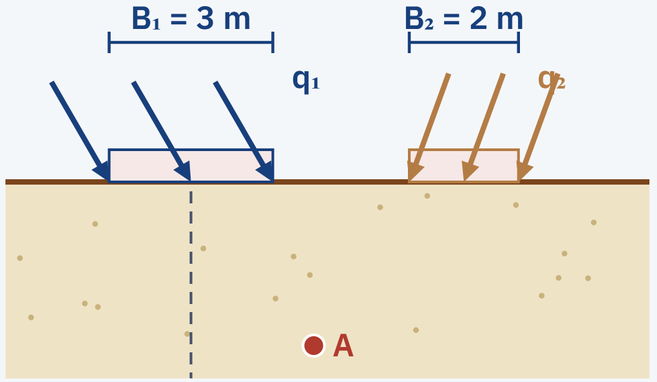
VOORBEELD

Gegeven

1e strook	$q_1 = 150$ **kN/m²,** $\alpha_1 = 30^\circ$ **(**$+x$**),** $B_1 = 3$ **m,** $x_{c1} = 0$ **(–1.5 … 1.5 m) — de strook uit Voorbeeld 2**
2e strook	$q_2 = 100$ **kN/m²,** $\alpha_2 = -20^\circ$ **(richting** $-x$**),** $B_2 = 2$ **m,** $x_{c2} = 5$ **m (4 … 6 m)**
Punt A	$x = 2.25$ **m,** $z = 3$ **m (tussen de twee stroken)**

GEVRAAGD

2. het aandeel van de strook (verticaal, horizontaal) en de **totale $\Delta\sigma_z$**; diepteprofiel.



Oplossing (1/3)

OPLOSSING

1 2e strook: $x_2 = 2.25 - 5 = -2.75$ m ($|x_2| = 2.75$ m), b = 1 m; $\alpha_2 = -20°$

$$q_v = 100\cos 20^\circ = \mathbf{93.97}\ \text{kPa} \qquad q_h = 100\sin(-20^\circ) = -\mathbf{34.20}\ \text{kPa}$$

2 Verticale component (symmetrie: voor $|x_2| = 2.75$ m)

$$A_1 = \tan^{-1}\frac{3}{1.75} = 1.0427 \quad A_2 = \tan^{-1}\frac{3}{3.75} = 0.6747 \quad T = \frac{2(3)(-2.4375)}{(15.5625)^2 + 36} = -0.0526$$

$$\Delta\sigma_{z(v)} = \frac{93.97}{\pi}[A_1 - A_2 - T] = 0.1339\,(93.97) = \mathbf{12.58}\ \text{kPa}$$

Oplossing (2/3)

OPLOSSING

3 Horizontale component: q_h negatief, x_2 negatief → $\Delta\sigma_{z(h)}$ positief

$$I_h(|x|) = \frac{4b\,x\,z^2}{\pi\left[(x^2+z^2-b^2)^2+4b^2z^2\right]} = \frac{4(1)(2.75)(9)}{\pi\left[(15.5625)^2+36\right]} = \mathbf{0.1133}$$

$$\Delta\sigma_{z(h)} = (-34.20)\,(-0.1133) = \mathbf{3.87}\ \text{kPa}$$

4 Superpositie (1e strook: Voorbeeld 2)

$$\Delta\sigma_z = \Delta\sigma_{z(1)} + \Delta\sigma_{z(2)} = (37.36 + 13.15) + (12.58 + 3.87)$$
$$= 50.52 + 16.45 = \mathbf{66.97}\ \text{kPa}$$

$\Delta\sigma_z$ = 66.97 kPa (verticale componenten 49.94, horizontale componenten 17.03 kPa). De module geeft dezelfde waarden voor beide stroken.

Oplossing (3/3)

OPLOSSING

z (m)	1e strook (kPa)	2e strook (kPa)	Totaal (kPa)	aandeel van strook 2
1	31.71	4.25	**35.96**	%12
2	49.08	12.18	**61.26**	%20
3	50.52	16.45	**66.97**	%25
4	46.98	17.48	**64.45**	%27
6	37.79	15.83	**53.62**	%30
8	30.40	13.38	**43.79**	%31
12	21.17	9.71	**30.89**	%31

In de laag dicht bij het maaiveld domineert strook 1; op **z = 12 m** stijgt het aandeel van strook 2 tot 31% van het totaal. De horizontale componenten van de twee stroken tellen in A in dezelfde richting op (beide naar A toe): de belastingen drukken naar elkaar toe.

Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

Samenvatting

Belangrijkste punten

Horizontale strook: $\Delta\sigma_z = 4bqxz^2 / \{\pi[(x^2 + z^2 - b^2)^2 + 4b^2z^2]\}$, $b = B/2$; equivalente vorm $(qz^2/\pi)[1/((x - b)^2 + z^2) - 1/((x + b)^2 + z^2)]$. Een **oneven functie** van x: + aan de voorzijde, − aan de achterzijde, 0 onder de as

Hellende strook: $q_v = q \cos \alpha$, $q_h = q \sin \alpha$; $\Delta\sigma_z = \Delta\sigma_{z(v)} + \Delta\sigma_{z(h)}$. De verticale component wordt bij x verdubbeld, de horizontale component enkelvoudig

Voorbeeld ($q = 150$ kPa, $\alpha = 30°$, $B = 3$ m; $z = 3$ m): A ($x = +2.25$): 37.36 + 13.15 = **50.52 kPa**; B ($x = -2.25$): 37.36 − 13.15 = **24.21 kPa**; horizontale strook ($q = 100$, $B = 4$; $x = \pm 1$, $z = 1$): **±12.73 kPa**

Effecten: naarmate α toeneemt, is het totaal in A het grootst bij ongeveer $\alpha \approx 30°$; in B neemt de spanning af voor $\alpha \geq 60°$; bij een strookbelasting neemt ze af naarmate de top dieper ligt en zich van de strook verwijdert

Superpositie: elke strook met zijn eigen x- en α-waarde; in het voorbeeld met twee hellende stroken 50.52 + 16.45 = **66.97 kPa**

Literatuur

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

OPMERKING

Alle numerieke voorbeelden zijn gegenereerd met de eigen berekeningsmodule van de module; de module geeft dezelfde waarden. De module opent met q = 150 kN/m², α = 30°, B = 3 m en A (x = +2.25 m, z = 3 m); bij invoer van x = −2.25 m wordt punt B verkregen, en bij invoer van α = 90° een volledig horizontale strook.

GeoTerva

Online geotechnische berekeningen

Van theorie naar praktijk

Voer uw eigen stroken (q, helling, B, hartlijn) en punt A in GeoTerva in; de module geeft tegelijk de spanning, de iso-spanningscontouren, het diepteprofiel, de stapsgewijze oplossing en het rapport.

Module openen →

Theoriepagina →

Openen op de smartphone

Proefmodules vereisen geen registratie.

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