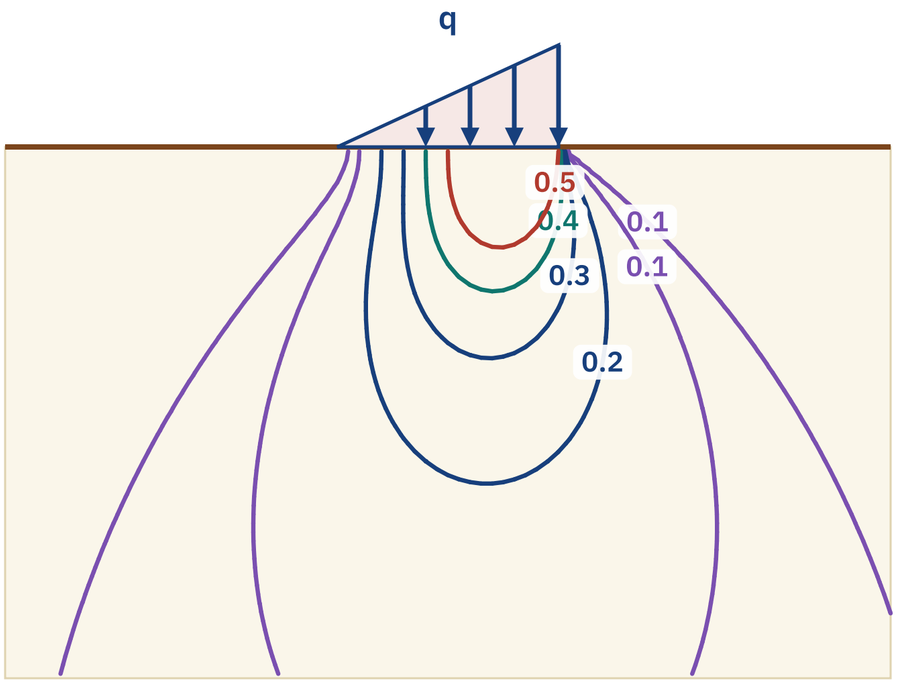
Geotechnisch college · Spanningen in de ondergrond

Spanning onder een driehoeksbelasting

College: driehoeksbelasting over een strook die langs één rand van nul tot q toeneemt; een punt handmatig, profielen, symmetrische driehoek en ophoging.

- Integraal van de lijnbelasting
- Hoekvorm
- Afschuiven van de kruin
- Ophoging = gelijkmatig + driehoeken
- Handmatig oplosbaar



Wat leren we in dit college?

De verticale spanningstoename onder een strookbelasting die **lineair toeneemt** van nul aan de ene rand tot q aan de andere rand (talud van een ophoging, opslag tegen een muur, teen van een ophoging): de integraal van een lijnbelasting met intensiteit (q/B) r dr

De **hoekvorm**: $\Delta\sigma_z = (q/2\pi)[(2x/B)\alpha - \sin 2\delta]$; de definitie van α en δ en het **teken** van δ

Dat de spanning aan het oppervlak de belasting volgt, op diepte uitwaaiert en naar de **teen** toe in de strook verschuift; het **spiegelbeeld**geval waarbij de nulkant rechts ligt

Een puntbelasting **volledig handmatig**; met twee stroken een **symmetrische driehoek**; met een gelijkmatige strook + twee driehoeken een **ophogings**belasting

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 = 100 kN/m², B = 2 m, belasting nul bij x = 0, q bij x = B; punt A op x = −1 m, z = 1.5 m.

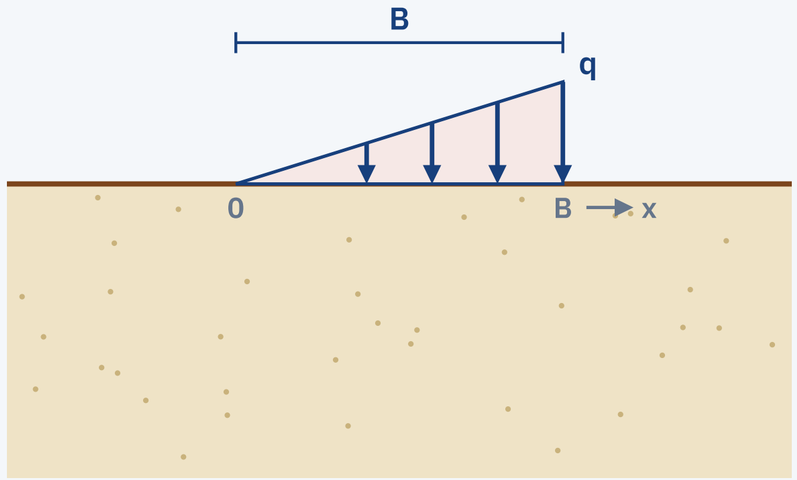
Driehoeksstrook: van nul tot q aan één rand

THEORIE

Het talud van een ophoging, een tegen de wand rustende hoop, de teen van een ophoging: een strookbelasting waarvan de intensiteit aan de ene rand van nul toeneemt tot de waarde **q** aan de andere rand. Samen met een gelijkmatig verdeelde strookbelasting vormt zij de **ophogingsbelasting**

Flexibele strook, breedte B, oneindige lengte; de belasting is **q·x/B** in het bereik 0 ≤ x ≤ B en nul elders (vlakke vervorming)

De grond is een homogeen, isotroop, lineair elastisch halfoneindig medium; $\Delta\sigma_z$ is alleen de toename ten gevolge van de belasting



Doorsnede: de belasting is nul bij x = 0 en q bij x = B; dezelfde spanning in elke doorsnede

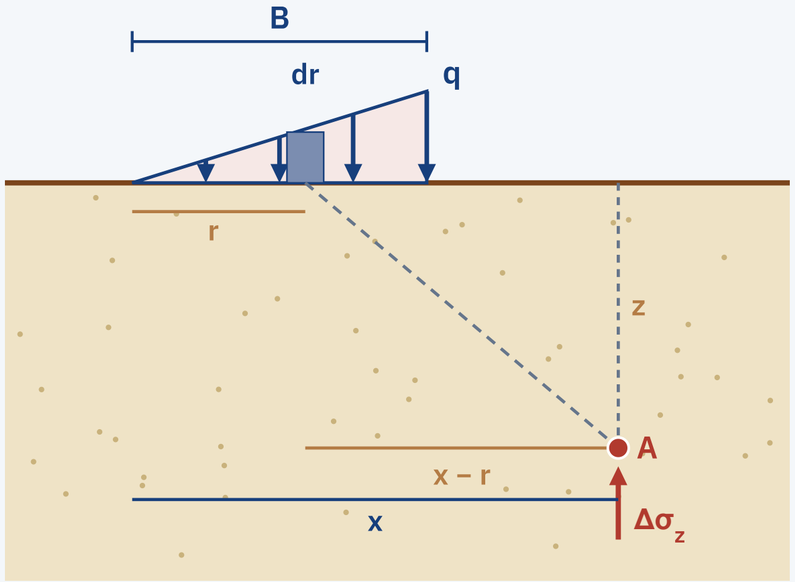
Lijnbelasting met intensiteit (q/B) r dr

THEORIE

Het elementaire strookje op positie r draagt een belasting **(q/B) r dr** per lengte-eenheid. Het wordt behandeld als een **lijnbelasting** op een horizontale afstand x − r van punt A en over de breedte gesommeerd

$$\Delta\sigma_z = \int_0^B \frac{2\,(q/B)\,r\,dr\,z^3}{\pi\,[(x-r)^2+z^2]^2} = \frac{1}{B}\,\frac{2q}{\pi}\int_0^B \frac{z^3\,r\,dr}{[(x-r)^2+z^2]^2}$$

De integraal is **elementair**; uitgeschreven met de hoeken in de figuur staat het resultaat op de volgende dia. Numerieke controle (q = 100, B = 2, x = −1, z = 1.5): Simpson-waarde van de integraal **4.4699 kPa**, gesloten vorm **4.4699 kPa**



$\Delta\sigma_z = (q/2\pi)[(2x/B)\,\alpha - \sin 2\delta]$

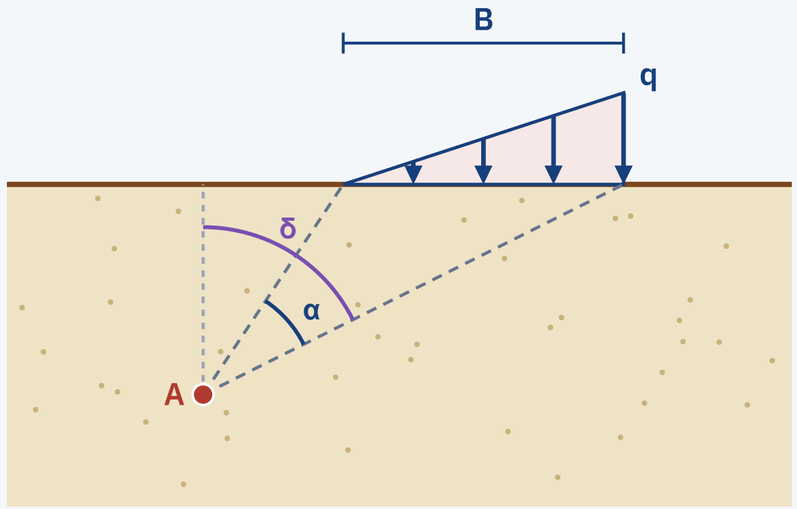
THEORIE

$$\Delta\sigma_z = \frac{q}{2\pi}\left(\frac{2x}{B}\,\alpha - \sin 2\delta\right)$$

$$\alpha = \tan^{-1}\frac{x}{z} - \tan^{-1}\frac{x-B}{z} \qquad \delta = \tan^{-1}\frac{x-B}{z}$$

α is in radialen. **δ** is de hoek van de verticaal door A naar de lijn die naar de **hoge rand** wordt getrokken. Het teken is van belang: als de hoge rand aan de +x-zijde van A ligt, is δ negatief

Met arctangenten wordt het teken automatisch bepaald; het resultaat geldt **voor elke x**: naast, onder of voorbij de strook. x wordt gemeten vanaf de **nulrand** naar de belaste rand



A (x = −1, z = 1.5): α en δ (δ negatief)

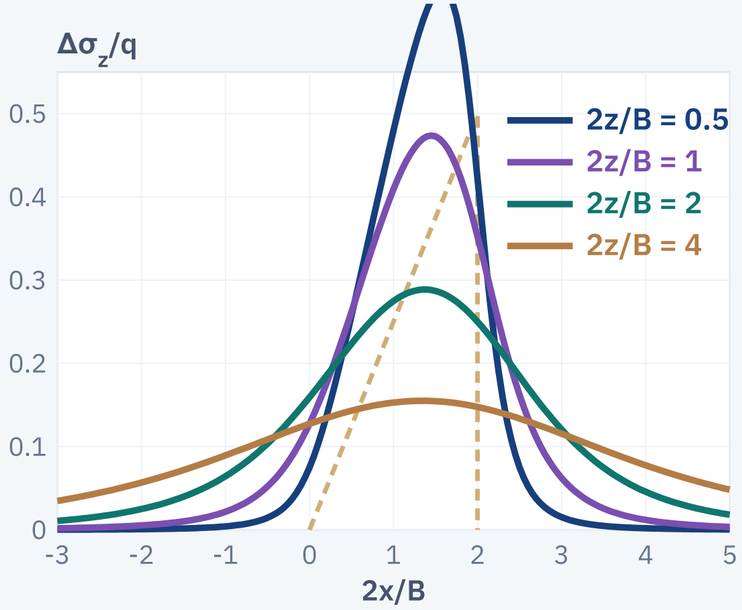
Volgt de belasting aan het oppervlak, spreidt zich met de diepte

THEORIE

In de zone nabij het maaiveld volgt de spanning **de belasting zelf**; op grotere diepte **spreidt** de spanning zich en verschuift de maximale waarde **naar het inwendige van de strook**

De top ligt bij 2x/B = 1.58 voor 2z/B = 0.5 (0.65 q); bij 2z/B = 4 ligt die bij 2x/B = 1.34 (0.15 q): op grote diepte blijft de top onder het **zwaartepunt** van de belasting (x = 2B/3, dus 2x/B = 1.33)

Buiten de nulrand (x < 0) is de spanning klein maar niet nul; er is geen belasting, maar de grond draagt spanning



Δσz/q — 2x/B (belasting weergegeven als gele gestreepte driehoek)

$\Delta\sigma_z/q$-waarden

THEORIE

2z/B \ 2x/B	-2.0	-1.0	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0
0.25	0.0001	0.0006	0.0392	0.2516	0.4969	0.7272	0.4604	0.0024	0.0003
0.50	0.0008	0.0041	0.0749	0.2574	0.4797	0.6448	0.4220	0.0152	0.0019
1.00	0.0053	0.0217	0.1273	0.2620	0.4092	0.4726	0.3524	0.0622	0.0119
1.50	0.0140	0.0447	0.1528	0.2473	0.3341	0.3598	0.2952	0.1010	0.0285
2.00	0.0249	0.0643	0.1592	0.2235	0.2749	0.2870	0.2500	0.1206	0.0457
3.00	0.0448	0.0854	0.1469	0.1774	0.1979	0.2017	0.1872	0.1259	0.0691
4.00	0.0567	0.0894	0.1273	0.1431	0.1529	0.1545	0.1476	0.1154	0.0775
6.00	0.0622	0.0798	0.0955	0.1010	0.1042	0.1047	0.1024	0.0909	0.0740

$\Delta\sigma_z = q \cdot$ (tabelwaarde). De cel $2x/B = -1$, $2z/B = 1.5$ is 0.0447: het openingsvoorbeeld van de module. De belasting ligt in het bereik $0 \le 2x/B \le 2$; de belaste rand is $2x/B = 2$.

Als de nulrand rechts ligt; meerdere stroken

THEORIE

Een strook kan ook aan de **rechterrand** nul zijn: dit is het **spiegelbeeld** van de strook in het voorbeeld; dezelfde vergelijking wordt gebruikt en x wordt gemeten vanaf de **nulrand** naar de hogere rand (als de rechterrand nul is, geldt $x = x_L + B - x_A$)

Omdat de grond elastisch is, wordt de spanning van elke strook afzonderlijk bepaald en gesommeerd. Stroken mogen elkaar niet overlappen (zij mogen elkaar aan een rand raken); in de module kunnen ten hoogste acht stroken worden ingevoerd, elk met een eigen q, B, linkerrand en richting

Het naast elkaar plaatsen van de twee driehoeken met gespiegelde oriëntatie geeft een **symmetrische driehoeksbelasting**; een gelijkmatig verdeelde strook plus twee driehoeken vormt de **ophogingsbelasting**

$$\Delta\sigma_z = \sum_k \Delta\sigma_{z(k)}$$

Opgave

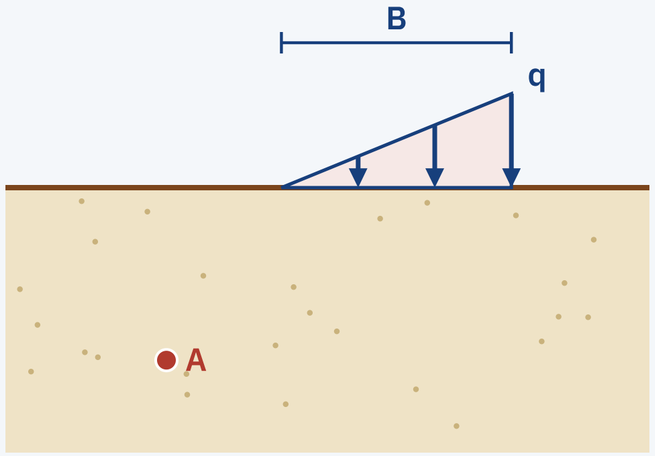
VOORBEELD

Gegeven

Strookbelasting	**Flexibel, verticaal; nul bij $x = 0$, neemt lineair toe tot q bij $x = B$: $q = 100$ kN/m², $B = 2$ m**
Punt A	**$x = -1$ m (1 m buiten de nulrand), $z = 1.5$ m**

GEVRAAGD

De hoeken **α** en **δ**, **$\Delta\sigma_z/q$** en **$\Delta\sigma_z$**; vergelijking met de spiegelstrook waarbij de nulrand zich rechts bevindt.



Oplossing (1/2)

OPLOSSING

1 Hoeken gemeten vanaf het maaiveld (vanaf A naar de hoge rand en naar de nulrand)

$$\alpha_1 = \tan^{-1}\frac{1.5}{3} = 26.57^\circ \qquad \alpha_2 = \tan^{-1}\frac{1.5}{1} = 56.31^\circ$$

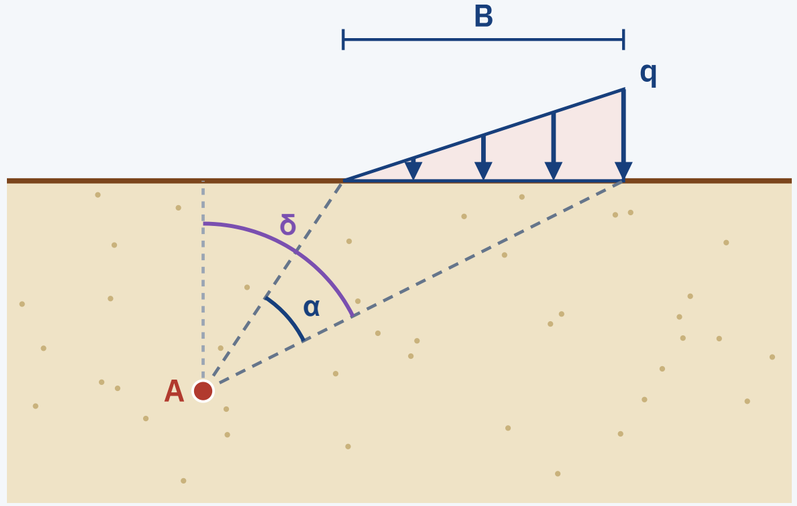
$$\alpha = \alpha_2 - \alpha_1 = 29.74^\circ \qquad \delta = -(90^\circ - \alpha_2 + \alpha) = \mathbf{-63.43}^\circ$$

2 Dezelfde hoeken uit de vergelijking (x = −1 m, B = 2 m, z = 1.5 m)

$$\alpha = \tan^{-1}\frac{x}{z} - \tan^{-1}\frac{x-B}{z}$$

$$= \tan^{-1}(-0.6667) - \tan^{-1}(-2) = 29.74^\circ = \mathbf{0.5191}\ \text{rad}$$

$$\delta = \tan^{-1}\frac{x-B}{z} = \tan^{-1}\frac{-3}{1.5} = \mathbf{-63.43}^\circ$$



De twee wegen geven **dezelfde** hoeken: α = 29.74° (0.5191 rad), δ = -63.43°. δ is **negatief**, omdat de hogere rand (x = B = 2 m) aan de +x-zijde van A ligt.

Oplossing (2/2)

OPLOSSING

3 Invloedswaarde en spanning

$$\frac{\Delta\sigma_z}{q} = \frac{1}{2\pi}\left[\frac{2x}{B}\,\alpha - \sin 2\delta\right] = \frac{1}{2\pi}\left[(-1)(0.5191) - \sin(-126.87^\circ)\right]$$

$$= \frac{1}{2\pi}\left[-0.5191 + 0.8000\right] = \mathbf{0.0447} \qquad \Delta\sigma_z = 0.0447\,(100) = \mathbf{4.47}\ \text{kPa}$$

4 Spiegelstrook: nulrand rechts (linkerrand 0, B = 2 m), punt A op x = 3 m

$$x = x_L + B - x_A = 0 + 2 - 3 = -1\ \text{m} \;\Rightarrow\; \text{zelfde waarde: } \Delta\sigma_z = \mathbf{4.47}\ \text{kPa}$$

1 m buiten de nulrand staat geen belasting, toch bedraagt de spanning **4.47 kPa** (4.5% van q). In de spiegelstrook is het overeenkomstige punt van A x = 3 m; de module geeft in beide gevallen hetzelfde resultaat.

Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

Opgave

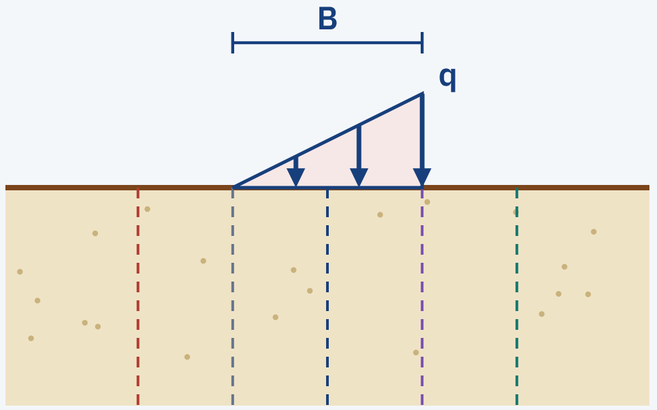
VOORBEELD

Gegeven

Strookbelasting	**Strook uit Voorbeeld 1:** $q = 100$ **kN/m²,** $B = 2$ **m (**$x = 0$ **nul,** $x = 2$ **hoge zijde)**
Handberekening	**Bij** $z = 1.5$ **m, onder de hoge zijde (**$x = B$**) en onder de nulzijde (**$x = 0$**)**
Profiel	$x = -1,\ 0,\ 1,\ 2,\ 3$ **m-lijnen;** $z = 0.5$ **…** 8 **m**

GEVRAAGD

Δσ$_z$ met de hand in de twee randpunten; de verandering van de spanning met de diepte langs vijf lijnen.



Oplossing (1/2)

OPLOSSING

1 Onder de hogere rand (x = B = 2 m, z = 1.5 m): δ = 0

$$\alpha = \tan^{-1}\frac{2}{1.5} - \tan^{-1}(0) = \mathbf{0.9273} \qquad \delta = 0 \;\Rightarrow\; \sin 2\delta = 0$$

$$\frac{\Delta\sigma_z}{q} = \frac{1}{2\pi}\left[(2)(0.9273) - 0\right] = 0.2952 \;\Rightarrow\; \Delta\sigma_z = \mathbf{29.52}\ \mathrm{kPa}$$

2 Onder de nulrand (x = 0, z = 1.5 m): 2x/B = 0

$$\alpha = \tan^{-1}(0) - \tan^{-1}\frac{-2}{1.5} = 0.9273 \qquad \delta = -0.9273 \;\Rightarrow\; \sin 2\delta = -0.9600$$

$$\frac{\Delta\sigma_z}{q} = \frac{1}{2\pi}\left[(0)(0.9273) - (-0.9600)\right] = 0.1528 \;\Rightarrow\; \Delta\sigma_z = \mathbf{15.28}\ \mathrm{kPa}$$

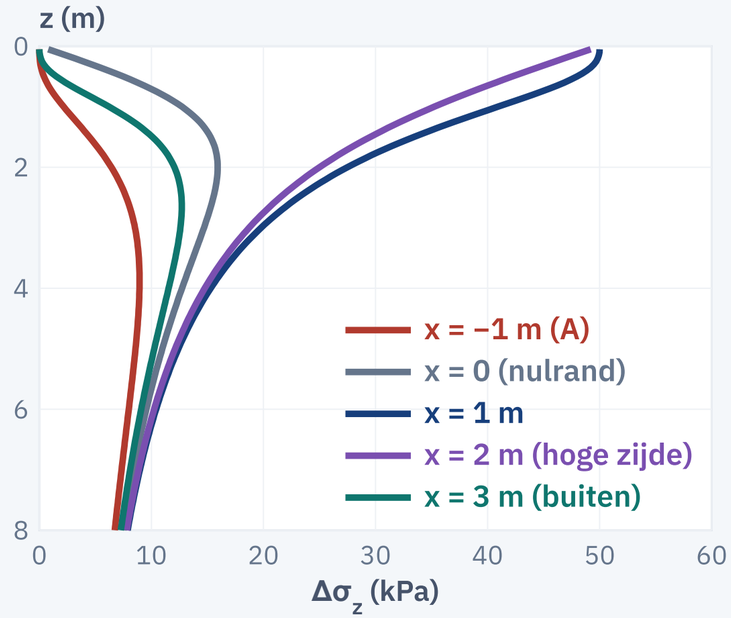
Onder de hoge rand op een diepte z = 1.5 m is er **29.52 kPa** (30 % van q); onder de rand waar de belasting nul is, is er toch een spanning van **15.28 kPa**: spanning bestaat niet alleen onder de belasting, maar ook eromheen.

Oplossing (2/2)

OPLOSSING

z (m)	x = −1 m (A)	x = 0 (nul)	x = 1 m	x = 2 m (hoog)	x = 3 m (buiten)
0.5	0.41	7.49	47.97	42.20	1.52
1.0	2.17	12.73	40.92	35.24	6.22
1.5	**4.47**	**15.28**	**33.41**	**29.52**	**10.10**
2.0	6.43	15.92	27.49	25.00	12.06
3.0	8.54	14.69	19.79	18.72	12.59
4.0	8.94	12.73	15.29	14.76	11.54
6.0	7.98	9.55	10.42	10.24	9.09
8.0	6.73	7.49	7.88	7.80	7.27

Onder de hogere rand begint de spanning aan het oppervlak nabij **q/2 = 50 kPa** (42.2 kPa op z = 0.5 m) en neemt af met de diepte; **onder de nulrand** neemt zij eerst toe en bereikt een maximum van 15.9 kPa op z ≈ 2 m. Buiten de strook (x = −1 m) is de waarde het grootst rond z ≈ 4 m (8.9 kPa op z = 4 m).



Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

Opgave

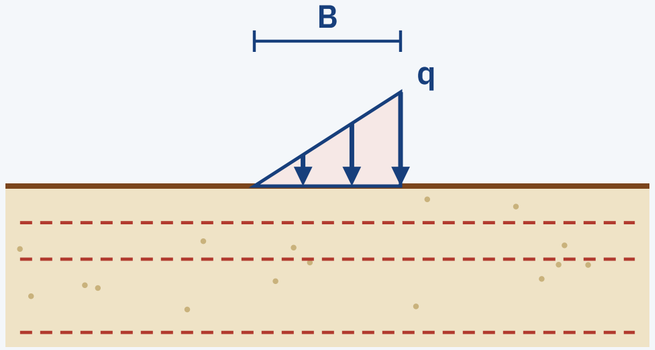
VOORBEELD

Gegeven

Strookbelasting	$q = 100$ **kN/m², $B = 2$ m: $2x/B = x$ (m), $2z/B = z$ (m)**
Lijnen	**horizontale lijnen op diepte $z = 0.5,\ 1,\ 2,\ 4$ m; $x = -2$ … 4 m**
Handberekening	**op $z = 2$ m, $x = 2B/3 = 1.333$ m (zwaartepunt van de belasting)**

GEVRAAGD

Op elke diepte de variatie van **$\Delta\sigma_z$** langs x, **de plaats en de waarde van de piek**; hoe de piek met de diepte verschuift.



Oplossing (1/3)

OPLOSSING

z (m)	x = -2 m	x = -1 m	x = 0 m	x = 0.5 m	x = 1 m	x = 2 m	x = 2 m	x = 3 m	x = 4 m
0.5	0.08	0.41	7.49	25.74	47.97	64.48	42.20	1.52	0.19
1	0.53	2.17	12.73	26.20	40.92	47.26	35.24	6.22	1.19
2	2.49	6.43	15.92	22.35	27.49	28.70	25.00	12.06	4.57
4	5.67	8.94	12.73	14.31	15.29	15.45	14.76	11.54	7.75

Vlak bij het maaiveld (z = 0.5 m) volgt de spanning de belasting en is deze groter nabij de belaste rand (ongeveer 65 kPa); met toenemende diepte **spreidt** de curve zich en **neemt** de piek **af** (15.5 kPa bij z = 4 m). Links van de strook (x < 0) zijn de waarden klein maar niet nul.

Oplossing (2/3)

OPLOSSING

1 x = 2B/3 = 1,333 m, z = 2 m

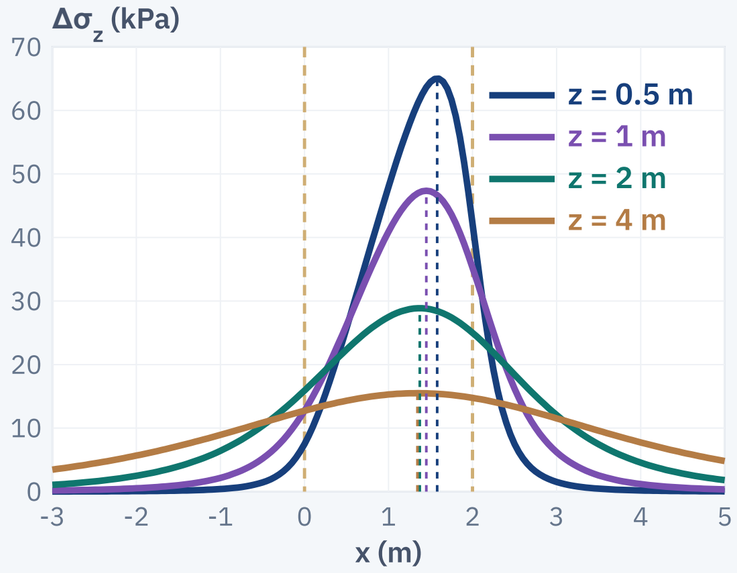
$$\alpha = \tan^{-1}\frac{1.333}{2} - \tan^{-1}\frac{-0.667}{2} = 0.9098$$

$$\delta = -0.3218 \;\Rightarrow\; \sin 2\delta = -0.6000$$

$$\frac{\Delta\sigma_z}{q} = \frac{1}{2\pi}\left[(1.333)(0.9098) - (-0.6000)\right] = 0.2885$$

$$\Delta\sigma_z = \mathbf{28.85}\ \text{kPa}$$

Voor z = 2 m is de top van de curve 28.87 kPa; de waarde onder het zwaartepunt van de belasting (28.85 kPa) ligt daar zeer dicht bij.



Oplossing (3/3)

OPLOSSING

z (m)	2z/B	Top: x (m)	Top: 2x/B	Top: $\Delta\sigma_z$ (kPa)	Top: $\Delta\sigma_z/q$
0.5	0.5	1.579	1.579	**65.04**	0.6504
1	1	1.450	1.450	**47.36**	0.4736
2	2	1.372	1.372	**28.87**	0.2887
4	4	1.344	1.344	**15.49**	0.1549
8	8	1.336	1.336	**7.90**	0.0790

De piek begint nabij het oppervlak iets binnen de hogere rand (2x/B ≈ 1.58) en nadert met toenemende diepte **het zwaartepunt van de belasting** (2x/B = 1.333): 1.336 op z = 8 m. De piekwaarde **neemt af** met de diepte: 65.0 kPa → 7.9 kPa.

Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

Opgave

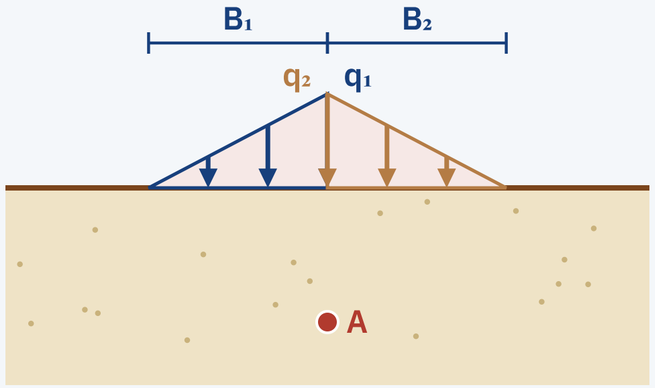
VOORBEELD

Gegeven

1e strook	$q_1 = 100$ **kN/m², $B_1 = 2$ m, linkerrand** $x_{L1} = 0$**, nul aan de linkerzijde (0 … 2 m)**
2e strook	$q_2 = 100$ **kN/m², $B_2 = 2$ m, linkerrand** $x_{L2} = 2$ **m, nul aan de rechterzijde (2 … 4 m); de twee stroken samengevoegd bij** $x = 2$
Punten	$z = 1.5$ **m op** $x = 2$ **m (onder de kruin) en** $x = 0$ **(linkse nulrand);** $x = 0$ **…** 5 **m**

GEVRAAGD

De som van $\Delta\sigma_z$ op twee punten met de hand; om aan te tonen dat de spanning uit een symmetrische belasting **symmetrisch** is.



Oplossing (1/2)

OPLOSSING

1 Onder de kruin (x = 2 m): beide stroken liggen aan hun eigen hoge rand

$$x_1 = 2 - 0 = 2\ \text{m} \qquad x_2 = x_{L2} + B - x_A = 2 + 2 - 2 = 2\ \text{m}$$

$$\Delta\sigma_{z(1)} = \Delta\sigma_{z(2)} = 29.52\ \text{kPa}\ \ (\text{Voorbeeld 2}) \ \Rightarrow\ \ \Delta\sigma_z = \mathbf{59.03}\ \text{kPa}$$

2 Onder de linker nulrand (x = 0)

$$x_1 = 0 - 0 = 0 \ \Rightarrow\ \ \Delta\sigma_{z(1)} = 15.28\ \text{kPa}\ \ (\text{Voorbeeld 2})$$

$$x_2 = 2 + 2 - 0 = 4\ \text{m} \ \Rightarrow\ \ \Delta\sigma_{z(2)} = 2.85\ \text{kPa}; \qquad \Delta\sigma_z = 15.28 + 2.85 = \mathbf{18.13}\ \text{kPa}$$

Onder de top bedraagt de spanning **59.03 kPa**, onder de linker nulrand **18.13 kPa**. De module geeft dezelfde waarden voor beide stroken.

Oplossing (2/2)

OPLOSSING

x (m)	1e strook (kPa)	2e strook (kPa)	Totaal (kPa)
0	15.28	2.85	**18.13**
1	33.41	10.10	**43.50**
2	29.52	29.52	**59.03**
3	10.10	33.41	**43.50**
4	2.85	15.28	**18.13**
5	0.97	4.47	**5.44**

Het totaal is **symmetrisch** ten opzichte van de as van de ophoging (x = 2 m): 18.13 kPa bij x = 0 en x = 4 m, 43.50 kPa bij x = 1 en x = 3 m. De waarden van de twee stroken zijn elkaars spiegelbeeld: de waarde van strook 1 bij x is gelijk aan die van strook 2 bij 4 − x.

Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

Opgave

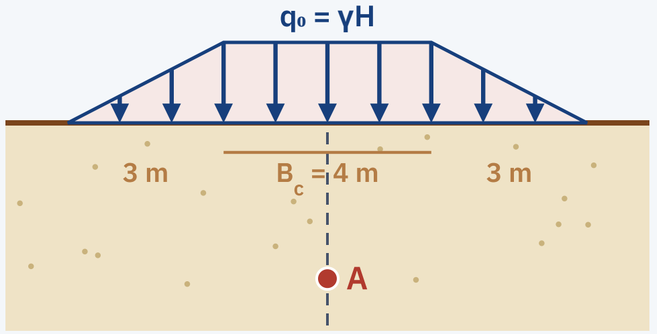
VOORBEELD

Gegeven

Ophoging	**Kruinbreedte $B_c = 4$ m ($x = -2 \ldots 2$), twee taluds met 3 m + 3 m horizontale breedte; $q_0 = \gamma H = 100$ kN/m²**
Verwering	**gelijkmatige strook $B = 4$ m (oplossing voor verticale strook) + twee driehoeksstroken $B = 3$ m (nul aan de buitenrand)**
Punt A	**onder de as $x = 0$, $z = 3$ m**

GEVRAAGD

Het aandeel van de drie delen en de **totale $\Delta\sigma_z$**; het diepteprofiel en een vergelijking met de berekening van dezelfde belasting als één brede gelijkmatige strook.



Oplossing (1/3)

OPLOSSING

1 Gelijkmatig deel (kruin): x = 0, b = 2 m, z = 3 m

$$\frac{\Delta\sigma_z}{q} = \frac{2}{\pi}\left[\tan^{-1}\frac{b}{z} + \frac{bz}{b^2+z^2}\right] = \frac{2}{\pi}\left[0.5880 + 0.4615\right] = 0.6682 \;\Rightarrow\; \Delta\sigma_{z,c} = \mathbf{66.82}\ \text{kPa}$$

2 Linkertalud: nulzijde x = −5 m, B = 3 m; voor A geldt x = 0 − (−5) = 5 m

$$\alpha = \tan^{-1}\frac{5}{3} - \tan^{-1}\frac{5-3}{3} = 0.4424 \qquad \delta = 0.5880 \;\Rightarrow\; \sin 2\delta = 0.9231$$

$$\frac{\Delta\sigma_z}{q} = \frac{1}{2\pi}\left[(3.333)(0.4424) - (0.9231)\right] = 0.0878 \;\Rightarrow\; \Delta\sigma_{z,s} = \mathbf{8.78}\ \text{kPa}$$

Omdat het rechtertalud een spiegelbeeld is, geeft dit dezelfde waarde voor A: x = x_L + B − x_A = 2 + 3 − 0 = 5 m. Totaal: 66.82 + 2(8.78) = **84.37 kPa**; de oplossingen van de module voor een gelijkmatig verdeelde strook en een driehoeksbelasting geven dezelfde waarde.

Oplossing (2/3)

OPLOSSING

x (m)	Piek (kPa)	Linkertalud	Rechtertalud	Totaal
0	66.82	8.78	8.78	**84.37**
1	60.71	4.57	16.15	**81.43**
2	44.80	2.44	25.00	**72.24**
5	7.72	0.51	15.92	**24.15**
8	1.51	0.16	2.49	**4.16**

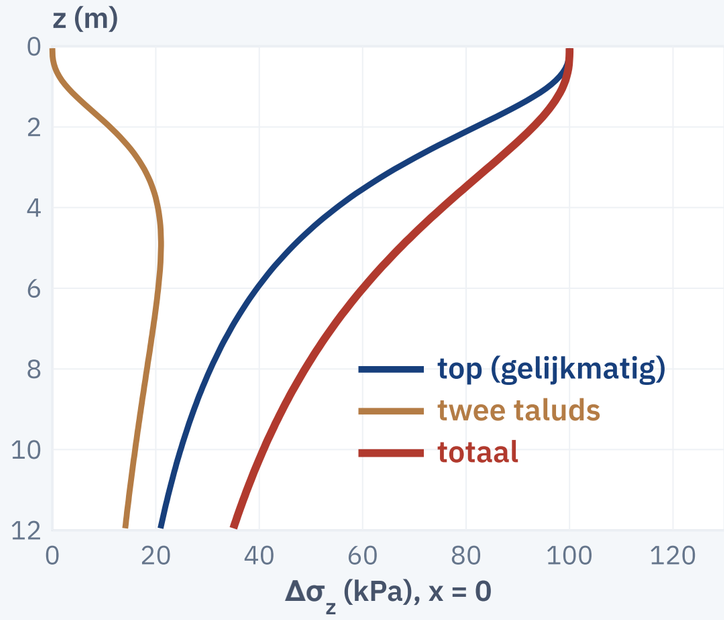
Op diepte z = 3 m is de spanning onder de ophoging **84.37 kPa** op de as, **24.15 kPa** aan de teen van het talud (x = 5 m) en **4.16 kPa** op 3 m voorbij de teen (x = 8 m). In punten rechts (x > 0) is het rechtertalud maatgevend, in die links het linkertalud; de as (x = 0) wordt als **symmetrieas** beschouwd.

Oplossing (3/3)

OPLOSSING

z (m)	Top (gelijkmatig)	Twee taluds	Ophoging als som	Enkele strook (B = 10 m)
1	95.95	2.79	**98.73**	99.68
2	81.83	11.13	**92.96**	97.73
3	66.82	17.55	**84.37**	93.68
4	54.98	20.42	**75.40**	88.10
6	39.58	20.48	**60.06**	75.54
8	30.58	18.30	**48.87**	64.17
12	20.84	14.04	**34.88**	47.74

Aan het oppervlak ligt de spanning q_0 dicht bij 100 kPa; met toenemende diepte neemt het aandeel van de kruin af terwijl het **aandeel van de taluds** toeneemt (het grootst bij z = 4 – 6 m, 20.5 kPa). Als dezelfde belasting één brede gelijkmatige strook zou zijn (B = 10 m), zou bij z = 6 m 75.5 kPa worden gevonden: de drie driehoekige taluds dragen de helft van de belasting.



Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

Samenvatting

Belangrijkste punten

Hoekvorm: $\Delta\sigma_z = (q/2\pi)[(2x/B)\,\alpha - \sin 2\delta]$; $\alpha = \tan^{-1}(x/z) - \tan^{-1}[(x - B)/z]$, $\delta = \tan^{-1}[(x - B)/z]$; x wordt gemeten vanaf de rand waar de waarde nul is, δ is negatief als de hogere rand aan de +x-zijde ligt; het resultaat geldt voor elke x

Voorbeeld (q = 100 kPa, B = 2 m; A: x = −1, z = 1.5 m): α = 29.74° (0.5191 rad), δ = -63.43° → $\Delta\sigma_z/q$ = **0.0447**; **$\Delta\sigma_z$ = 4.47 kPa**; dezelfde waarde in de gespiegelde strook

Randen (z = 1.5 m): 29.52 kPa onder de hoge rand, 15.28 kPa onder de nulrand. De **top** neemt af met de diepte en verschuift naar het zwaartepunt van de belasting (x = 2B/3)

Superpositie: twee gespiegelde strookbelastingen symmetrisch om de as geven een driehoek (59.03 kPa onder de top); de gelijkmatig verdeelde strook plus twee driehoekige ophogingen vormen het talud (84.37 kPa op z = 3 m onder de as)

Literatuur

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

OPMERKING

Alle numerieke voorbeelden zijn met de eigen berekeningsmotor van de module gegenereerd; de module geeft dezelfde waarden. De module opent met q = 100 kN/m², B = 2 m en A (x = –1 m, z = 1.5 m); de strook met de nulrand rechts is het spiegelbeeld van deze strook.

GeoTerva

Online geotechnische berekeningen

Van theorie naar praktijk

Voer uw eigen driehoekige stroken (q, B, linkerrand, richting) en punt A in GeoTerva in; de module levert 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