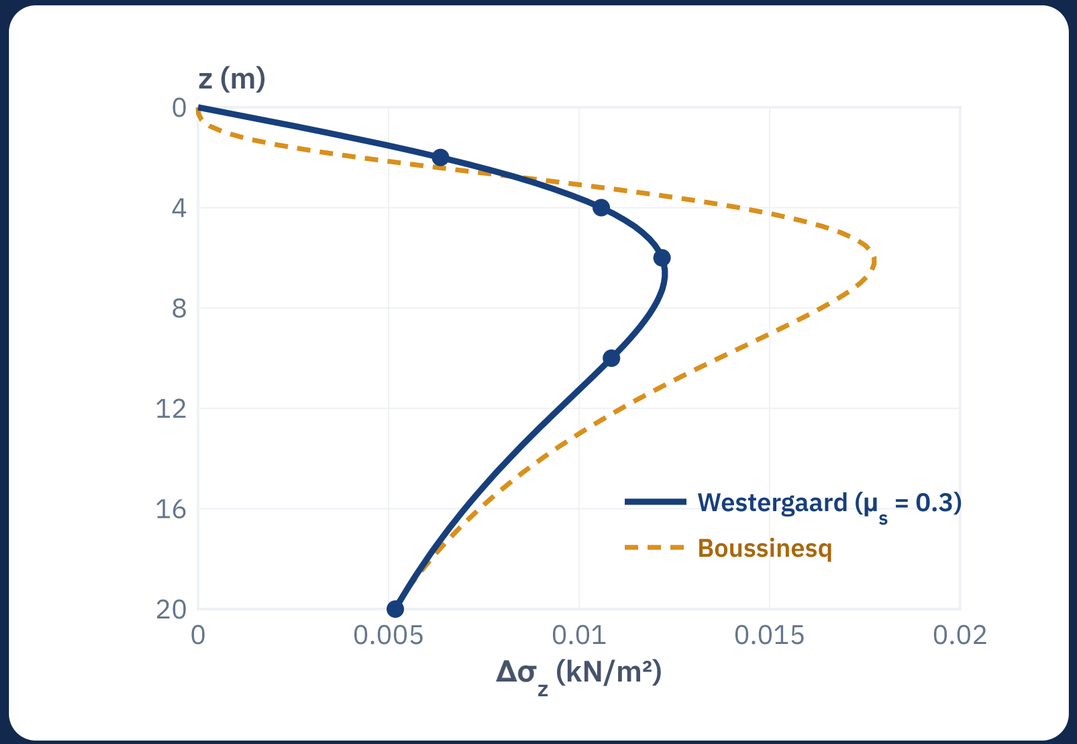
Geotechnisch college · Spanningen in de ondergrond

Westergaard: spanning onder een puntbelasting

College: spanning onder een puntbelasting in een gelaagde grond waarvan de horizontale vervormingen door starre platen zijn ingeklemd; één punt wordt van begin tot eind met de hand uitgewerkt.

- Westergaard-medium
- η en I_5
- invloed van μ_s
- vergelijking met Boussinesq
- Superpositie



Wat leren we in dit college?

- Het **medium van Westergaard**: een elastische ideaalgrond met dunne, starre horizontale platen die geen horizontale vervorming toelaten
- De verticale spanningstoename onder een puntlast: **η**, **invloedswaarde I_5** en **$\Delta\sigma_z = (P/z^2)\, I_5$**
- Waar de spanning volgens Westergaard kleiner en waar groter is dan de **Boussinesq**-spanning; de rol van de dwarscontractiecoëfficiënt **μ_s**
- De variatie met de diepte en de horizontale afstand, de diepte van de maximale spanning
- **Superpositie van meerdere puntbelastingen**

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: P = 5 kN, punt A ligt op r = 5 m van de belasting en op z = 4 m diepte; in de grond tussen de platen geldt $\mu_s = 0.3$.

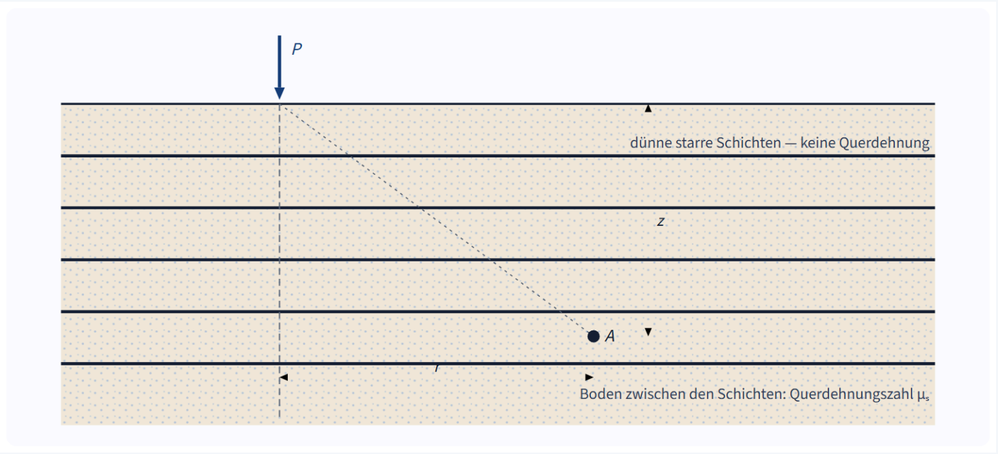
Grond met een starre horizontale plaat

THEORIE

Oplossingen op basis van Boussinesq berusten op het integreren van de puntlastoplossing voor een **homogene en isotrope** halve ruimte. Veel grond is echter **gelaagd**

Voorbeeld: een klei met fijne zandlaagjes waarvan de horizontale vervorming wordt begrensd door stijvere lagen

Westergaard (1938) idealiseerde deze grond als volgt: een elastisch medium met een groot aantal **dunne, starre horizontale platen** die geen laterale vervorming toelaten



Verticale spanningstoename en η

THEORIE

De toename van de verticale spanning veroorzaakt door de puntlast **P** aan het oppervlak in punt A, op horizontale afstand **r** en diepte **z**; μ_s is de dwarscontractiecoëfficiënt van de grond tussen starre platen, r = √(x² + y²)

De oplossing wordt herschreven met een **invloedswaarde**, zoals bij Boussinesq I_1

$$\Delta\sigma_z = \frac{P\,\eta}{2\pi z^2}\left[\frac{1}{\eta^2 + (r/z)^2}\right]^{3/2}$$

$$\eta = \sqrt{\frac{1-2\mu_s}{2-2\mu_s}}$$

$\Delta\sigma_z = (P/z^2)\, I_5$

THEORIE

De oplossing van Westergaard wordt geschreven in de vorm **$\Delta\sigma_z = (P/z^2)\, I_5$**, zoals bij Boussinesq; I_5 hangt alleen af van **$r/(\eta z)$** en **η**

Ter vergelijking de oplossing van Boussinesq: $\Delta\sigma_z = (P/z^2)\, I_1$, waarbij I_1 alleen afhangt van r/z (de verticale spanning is onafhankelijk van de dwarscontractiecoëfficiënt)

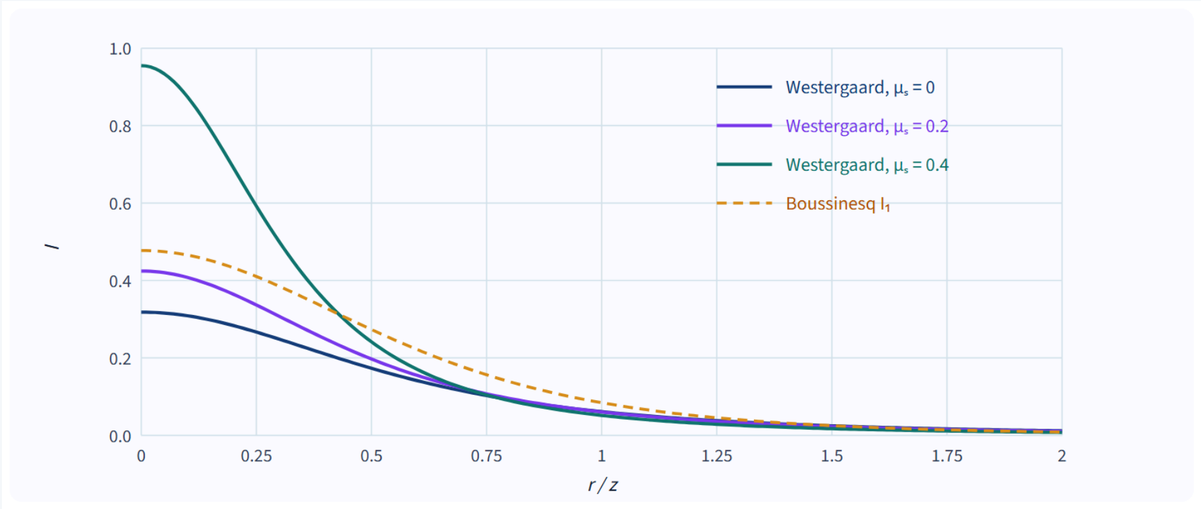
$$\Delta\sigma_z = \left(\frac{P}{z^2}\right) I_5 \qquad I_5 = \frac{1}{2\pi\eta^2}\left[\left(\frac{r}{\eta z}\right)^2 + 1\right]^{-3/2}$$

$$\text{Boussinesq:} \quad I_1 = \frac{3}{2\pi}\left[\left(\frac{r}{z}\right)^2 + 1\right]^{-5/2}$$

Verloop van de invloedsfactor met r/z

THEORIE

r/z	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1	1.5	2	3	5
$\mu_s = 0$	0.3183	0.3090	0.2836	0.2483	0.2099	0.1733	0.1411	0.0925	0.0613	0.0247	0.0118	0.0038	0.0009
$\mu_s = 0.2$	0.4244	0.4080	0.3646	0.3074	0.2491	0.1972	0.1547	0.0953	0.0604	0.0229	0.0107	0.0034	0.0008
$\mu_s = 0.4$	0.9549	0.8750	0.6916	0.4997	0.3480	0.2416	0.1700	0.0897	0.0516	0.0173	0.0076	0.0023	0.0005
Boussinesq I_1	0.4775	0.4657	0.4329	0.3849	0.3295	0.2733	0.2214	0.1386	0.0844	0.0251	0.0085	0.0015	0.0001



Westergaard en Boussinesq onder de belasting

THEORIE

Direct onder de belasting (r = 0) is de spanning volgens Westergaard **lager** dan de spanning volgens Boussinesq voor **$\mu_s = 0$**: $I_5 = 1/\pi = 0.3183$; voor Boussinesq is $I_1 = 3/2\pi = 0.4775$. Stijve platen spreiden de belasting zijwaarts

Onder de belasting **neemt de spanning toe naarmate μ_s groter wordt**; bij **$\mu_s = 0.5$** wordt $\eta = 0$ en **verliest de oplossing haar geldigheid**. De module accepteert μ_s tussen 0 en 0.49

μ_s	0.00	0.10	0.20	0.25	0.30	0.40	0.45	0.49
η	0.7071	0.6667	0.6124	0.5774	0.5345	0.4082	0.3015	0.1400
η^2	0.5000	0.4444	0.3750	0.3333	0.2857	0.1667	0.0909	0.0196
I_5 (r = 0) = $1/(2\pi\eta^2)$	0.3183	0.3581	0.4244	0.4775	0.5570	0.9549	1.7507	8.1169

Superpositie

THEORIE

Omdat het medium van Westergaard **elastisch** is, wordt de spanning van elke belasting bepaald met de **eigen afstand r** tot punt A, en de spanningen worden **gesommeerd**

De belastingen bevinden zich op hun eigen positie op het maaiveld; er kunnen ten hoogste acht belastingen worden ingevoerd en geen twee mogen op dezelfde positie liggen

De vergelijkingswaarde volgens Boussinesq wordt op dezelfde wijze gesommeerd

$$\Delta\sigma_z = \sum_k \frac{P_k}{z^2}\, I_{5,k} \qquad r_k = \sqrt{(x - x_k)^2 + (y - y_k)^2} \qquad I_{5,k} = I_5\left(\frac{r_k}{\eta z}\right)$$

Opgave

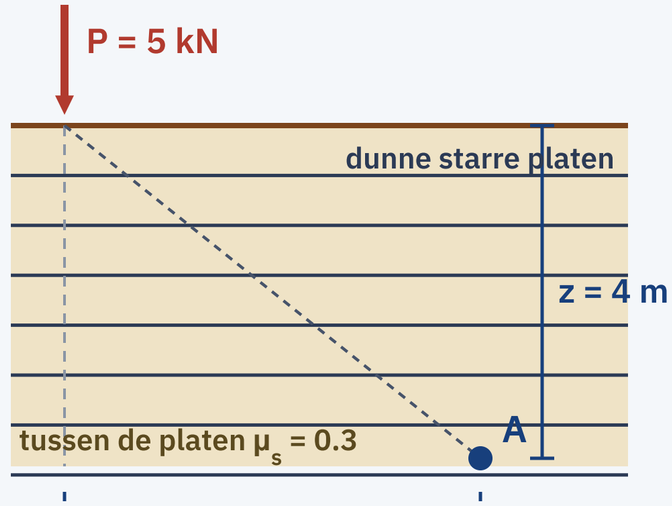
VOORBEELD

Gegeven

Belasting	**aan het oppervlak** $P = 5$ **kN,** $(x_L;\, y_L) = (0;\, 0)$
Punt A	$x = 3$ **m,** $y = 4$ **m,** $z = 4$ **m**
Grond	**tussen platen** $\mu_s = 0.3$

GEVRAAGD

η, **r/(ηz)**, invloedsfactor $\mathbf{I_5}$, $\mathbf{\Delta\sigma_z}$ en vergelijking met de Boussinesq-spanning.



Oplossing (1/3)

OPLOSSING

1 Westergaard-constante η

$$\eta = \sqrt{\frac{1-2\mu_s}{2-2\mu_s}} = \sqrt{\frac{1-0.6}{2-0.6}} = \sqrt{0.2857} = \mathbf{0.5345}$$

2 Horizontale afstand en r/(ηz)

$$r = \sqrt{x^2+y^2} = \sqrt{3^2+4^2} = \mathbf{5.00\ m}$$

$$\frac{r}{\eta z} = \frac{5}{0.5345\,(4)} = \mathbf{2.3385}$$

η = **0.5345** (η² = 0.2857). Punt A ligt op **r = 5 m** van de belasting; bij Boussinesq zou deze afstand ingaan als r/z = 1.25, bij Westergaard gaat r/(ηz) = **2.3385** erin.

Oplossing (2/3)

OPLOSSING

3 Invloedswaarde I_5

$$I_5 = \frac{1}{2\pi\eta^2}\left[\left(\frac{r}{\eta z}\right)^2 + 1\right]^{-3/2} = \frac{1}{2\pi\,(0.2857)}\left[2.3385^2 + 1\right]^{-3/2}$$

$$= 0.5570 \times [6.4687]^{-3/2} = 0.5570 \times 0.06078 = \mathbf{0.03386}$$

4 Verticale spanningstoename

$$\Delta\sigma_z = \frac{P}{z^2}\,I_5 = \frac{5}{4^2}\,(0.03386) = 0.3125 \times 0.03386 = \mathbf{0.01058}\ \mathrm{kN/m^2}$$

De puntlast van 5 kN aan het oppervlak veroorzaakt in punt A in een medium volgens Westergaard een toename van **$\Delta\sigma_z$ = 0.01058 kN/m²** (I_5 = 0.03386).

Oplossing (3/3)

OPLOSSING

5 Toets met de eerste vorm van de vergelijking

$$\Delta\sigma_z = \frac{P\eta}{2\pi z^2}\left[\frac{1}{\eta^2+(r/z)^2}\right]^{3/2} = \frac{5\,(0.5345)}{2\pi\,(16)}\left[\frac{1}{0.2857+1.5625}\right]^{3/2} = \mathbf{0.01058}$$

6 Boussinesq (vergelijking)

$$I_1 = \frac{3}{2\pi}\left[\left(\frac{r}{z}\right)^2+1\right]^{-5/2} = \frac{3}{2\pi}\left[2.5625\right]^{-5/2} = \mathbf{0.04542}$$

$$\Delta\sigma_{z,B} = \frac{5}{4^2}\,(0.04542) = \mathbf{0.01419}\ \mathrm{kN/m^2} \qquad \frac{\Delta\sigma_z}{\Delta\sigma_{z,B}} = 0.745$$

Beide formuleringen geven hetzelfde resultaat. Op dit punt bedraagt de spanning volgens Westergaard ongeveer **74.5%** van die volgens Boussinesq: doordat starre platen de belasting zijwaarts spreiden, is de spanning op tussenliggende diepte kleiner.

Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

Opgave

VOORBEELD

Gegeven

Belasting en punt	$P = 5$ **kN; punt A op** $r = 5$ **m van de belasting;** $\mu_s = 0.3$
Diepten	$z = 2,\ 4,\ 6 \ldots 20$ **m (profieltabel van de module)**

GEVRAAGD

Op elke diepte **r/(ηz)**, $\mathbf{I_5}$, de spanningen volgens Westergaard en Boussinesq; en de **diepte van de maximale spanning**.

Oplossing (1/2)

OPLOSSING

z (m)	r/(ηz)	I_5	$\Delta\sigma_z$ volgens Westergaard	$\Delta\sigma_z$ Boussinesq	Verhouding W/B
2	4.677	0.0051	**0.00636**	0.00422	1.509
4	2.339	0.0339	**0.01058**	0.01419	0.745
6	1.559	0.0877	**0.01218**	0.01774	0.686
8	1.169	0.1529	**0.01195**	0.01636	0.731
10	0.935	0.2170	**0.01085**	0.01367	0.794
12	0.780	0.2733	**0.00949**	0.01111	0.854
14	0.668	0.3202	**0.00817**	0.00902	0.905
16	0.585	0.3584	**0.00700**	0.00739	0.948
18	0.520	0.3892	**0.00601**	0.00612	0.982
20	0.468	0.4140	**0.00518**	0.00513	1.009

Op **z = 2 m** is de spanning volgens Westergaard groter (0.00636 en 0.00422); **op tussenliggende diepten is deze kleiner** (z = 6 m: 0.01218 en 0.01774); op **z = 20 m** naderen de twee oplossingen elkaar (0.00518 en 0.00513).

Oplossing (2/2)

OPLOSSING

1 handmatig voor z = 10 m

$$\frac{r}{\eta z} = \frac{5}{0.5345\,(10)} = 0.9354$$

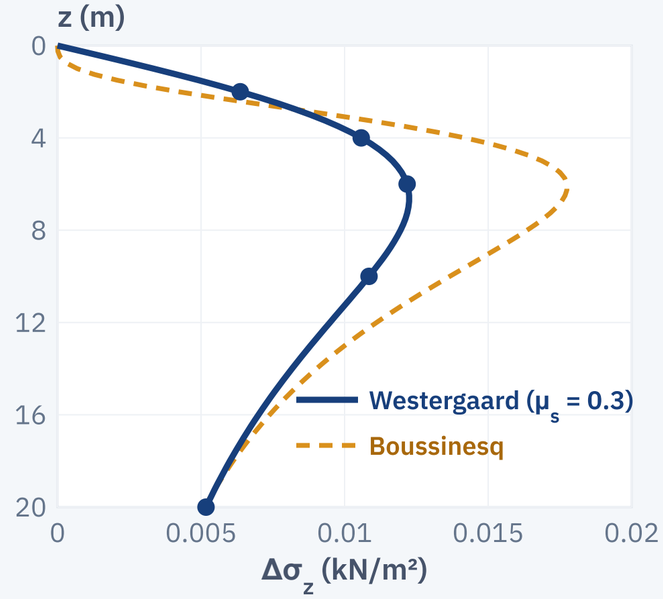
$$I_5 = 0.5570\,[1.8750]^{-3/2} = 0.2170$$

$$\Delta\sigma_z = \frac{5}{10^2}\,(0.2170) = \mathbf{0.01085}\ \mathrm{kN/m^2}$$

2 Diepte van de maximale spanning ($d\Delta\sigma_z/dz = 0$)

$$\Delta\sigma_z = \frac{P\eta}{2\pi}\,z\,(r^2 + \eta^2 z^2)^{-3/2}$$

$$z^* = \frac{r}{\sqrt{2}\,\eta} = \frac{5}{1.4142\,(0.5345)} = \mathbf{6.61}\ \mathrm{m}$$



Grootste spanning: Westergaard op **z = 6.61 m** (0.01225), Boussinesq (z* = r√1.5) op **z = 6.12 m** (0.01775 kN/m²).

Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

Opgave

VOORBEELD

Gegeven

Belasting en punt	$P = 5$ **kN,** $r = 5$ **m,** $z = 4$ **m (punt uit Voorbeeld 1)**
Variërend	$\mu_s = 0;\ 0.1;\ 0.2;\ 0.3;\ 0.4;\ 0.45;\ 0.49$

GEVRAAGD

Voor elke μ_s: **η**, **r/(ηz)**, $\mathbf{I_5}$, $\mathbf{\Delta\sigma_z}$ en de verhouding tot Boussinesq.

Oplossing (1/3)

OPLOSSING

μ_s	η	$r/(\eta z)$	I_5	$\Delta\sigma_z$ (kN/m²)	$\Delta\sigma_z$ / Boussinesq
0.00	0.7071	1.768	0.03799	**0.01187**	0.836
0.10	0.6667	1.875	0.03732	**0.01166**	0.822
0.20	0.6124	2.041	0.03614	**0.01129**	0.796
0.30	0.5345	2.339	0.03386	**0.01058**	0.745
0.40	0.4082	3.062	0.02858	**0.00893**	0.629
0.45	0.3015	4.146	0.02257	**0.00705**	0.497
0.49	0.1400	8.927	0.01120	**0.00350**	0.247

Op dit punt (r/z = 1.25) **neemt de Westergaard-spanning af naarmate μ_s toeneemt**: 0.01187 bij μ_s = 0 en 0.00350 kN/m² bij μ_s = 0.49. Op de belastingsas is het omgekeerde het geval (Voorbeeld 4): de richting van het effect hangt af van de positie van het punt.

Oplossing (2/3)

OPLOSSING

1 $\mu_s = 0$

$$\eta^2 = \frac{1}{2} = 0.5000\,, \quad \eta = 0.7071\,, \quad \frac{r}{\eta z} = \frac{5}{0.7071(4)} = 1.7678$$

$$I_5 = \frac{1}{\pi}\left[4.1250\right]^{-3/2} = 0.3183 \times 0.11936 = 0.03799$$

$$\Delta\sigma_z = \frac{5}{16}\,(0.03799) = \mathbf{0.01187}$$

Wanneer de dwarscontractiecoëfficiënt nul is, wordt η = 1/√2 = 0.7071; in dit punt wordt **$\Delta\sigma_z$ = 0.01187 kN/m²** gevonden (83.6% van Boussinesq).

Oplossing (3/3)

OPLOSSING

2 $\mu_s = 0.4$

$$\eta^2 = \frac{1 - 0.8}{2 - 0.8} = 0.1667\,, \quad \eta = 0.4082\,, \quad \frac{r}{\eta z} = \frac{5}{0.4082(4)} = 3.0619$$

$$I_5 = 0.9549\,[10.3750]^{-3/2} = 0.9549 \times 0.02992 = 0.02858$$

$$\Delta\sigma_z = \frac{5}{16}\,(0.02858) = \mathbf{0.00893}$$

Naarmate de dwarscontractiecoëfficiënt van de grond tussen de platen toeneemt, wordt η kleiner; r/(ηz) wordt groter en I_5 neemt op dit punt af: **0.01187 → 0.00893 kN/m²** ($\mu_s = 0 \rightarrow 0.4$).

Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

Opgave

VOORBEELD

Gegeven

Belasting	$P = 5$ **kN,** $\mu_s = 0.3$
Diepte	$z = 4$ **m; horizontale afstand** $r = 0,\ 1,\ 2 \ldots 10$ **m**
Opgave	**hoe verhouden de spanningen volgens Westergaard en Boussinesq zich op de belastingsas; voor welke waarde van** μ_s **zijn beide oplossingen gelijk?**

GEVRAAGD

$\Delta\sigma_z$ onder de belasting (r = 0), dezelfde waarde voor μ_s = 0 en de **tabel van het horizontale profiel**.

Oplossing (1/3)

OPLOSSING

1 r = 0 voor $\mu_s = 0.3$

$$I_5(0) = \frac{1}{2\pi\eta^2} = \frac{1}{2\pi\,(0.2857)} = 0.5570 \qquad \Delta\sigma_z = \frac{5}{16}\,(0.5570) = \mathbf{0.1741}$$

$$\text{Boussinesq: } I_1(0) = \frac{3}{2\pi} = 0.4775 \;\Rightarrow\; \Delta\sigma_{z,B} = \frac{5}{16}\,(0.4775) = \mathbf{0.1492}$$

2 Voor $\mu_s = 0$, r = 0

$$I_5(0) = \frac{1}{\pi} = 0.3183 \;\Rightarrow\; \Delta\sigma_z = \frac{5}{16}\,(0.3183) = \mathbf{0.0995} \qquad \frac{\Delta\sigma_z}{\Delta\sigma_{z,B}} = \frac{1/\pi}{3/2\pi} = \frac{2}{3}$$

μ_s = 0: Westergaard is **2/3** van Boussinesq (0.0995 en 0.1492); **μ_s = 0.3**: groter dan die van Boussinesq (0.1741); de twee oplossingen worden gelijk bij **μ_s = 0.25**.

Oplossing (2/3)

OPLOSSING

3 μ_s waarbij de twee oplossingen op de as gelijk zijn

$$\frac{1}{2\pi\eta^2} = \frac{3}{2\pi} \Rightarrow \eta^2 = \frac{1}{3} = \frac{1-2\mu_s}{2-2\mu_s} \Rightarrow \mu_s = \mathbf{0.25}$$

4 Verhouding op de as: Westergaard / Boussinesq = $(1/2\pi\eta^2) / (3/2\pi) = 1/(3\eta^2)$

μ_s	0.00	0.10	0.20	0.25	0.30	0.40	0.45	0.49
η^2	0.5000	0.4444	0.3750	0.3333	0.2857	0.1667	0.0909	0.0196
$\Delta\sigma_z$ Westergaard / Boussinesq	0.667	0.750	0.889	1.000	1.167	2.000	3.667	17.000

Op de belastingsas groeit de verhouding snel met μ_s: 2/3 bij μ_s = 0, 1 bij μ_s = 0.25, 3.67 bij μ_s = 0.45; naarmate μ_s 0.5 nadert, gaat $\eta \to 0$ en neemt de verhouding onbegrensd toe.

Oplossing (3/3)

OPLOSSING

r (m)	r/z	r/(ηz)	I_5	$\Delta\sigma_z$ volgens Westergaard	$\Delta\sigma_z$ Boussinesq	Verhouding W/B
0	0.00	0.000	0.5570	**0.17408**	0.14921	1.167
1	0.25	0.468	0.4140	**0.12938**	0.12822	1.009
2	0.50	0.935	0.2170	**0.06780**	0.08541	0.794
3	0.75	1.403	0.1089	**0.03403**	0.04889	0.696
4	1.00	1.871	0.0584	**0.01824**	0.02638	0.691
5	1.25	2.339	0.0339	**0.01058**	0.01419	0.745
6	1.50	2.806	0.0211	**0.00658**	0.00784	0.840
8	2.00	3.742	0.0096	**0.00300**	0.00267	1.123
10	2.50	4.677	0.0051	**0.00159**	0.00105	1.509

De Westergaard-spanning ligt op de as boven die van Boussinesq; na **r/z ≈ 0.26** daalt zij onder Boussinesq (r = 2 m: 0.06780 en 0.08541) en na **r/z ≈ 1.81** (r ≈ 7.2 m) stijgt zij er weer boven (r = 10 m: 0.00159 en 0.00105): op afstand neemt de Westergaard-spanning langzamer af.

Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

Opgave

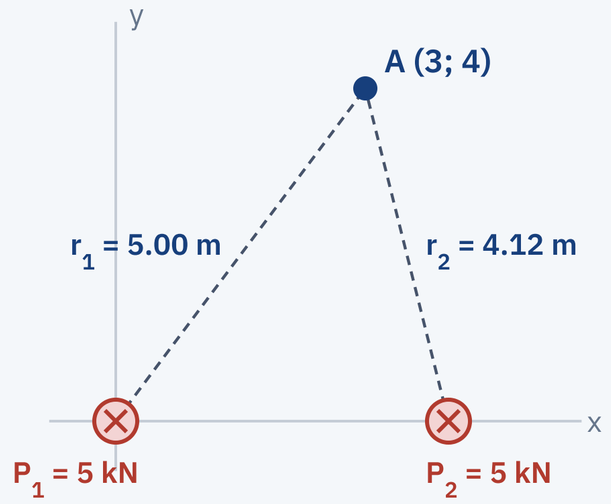
VOORBEELD

Gegeven

Belastingen	$P_1 = 5$ **kN,** $(0;\ 0)$ **en** $P_2 = 5$ **kN,** $(4;\ 0)$
Punt A	$x = 3$ **m,** $y = 4$ **m,** $z = 4$ **m**
Grond	$\mu_s = 0.3$

GEVRAAGD

De waarden **r**, $\mathbf{I_5}$, $\mathbf{\Delta\sigma_z}$ van elke belasting; de totale spanning en de Boussinesq-som.



Oplossing (1/2)

OPLOSSING

1 P_1 (0; 0)

$$r_1 = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5.000 \text{ m}$$

$$\frac{r_1}{\eta z} = \frac{5.000}{0.5345(4)} = 2.3385\,, \quad I_5 = 0.03386$$

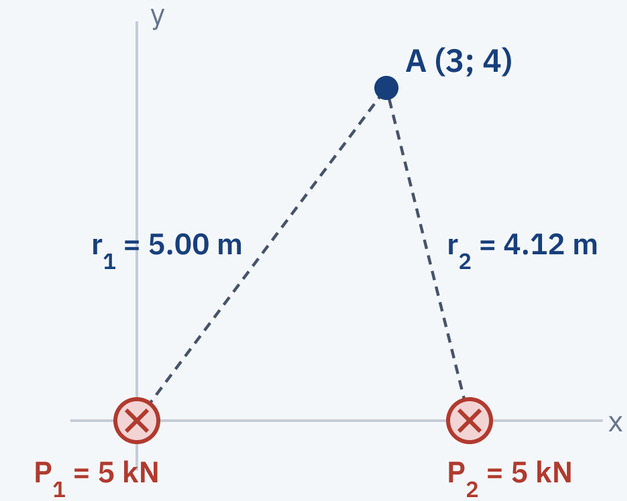
$$\Delta\sigma_{z(1)} = \frac{5}{16}\,(0.03386) = \mathbf{0.01058}\ \text{kN/m}^2$$

2 P_2 (4; 0)

$$r_2 = \sqrt{(3-4)^2 + 4^2} = 4.123 \text{ m}$$

$$\frac{r_2}{\eta z} = \frac{4.123}{0.5345(4)} = 1.9284\,, \quad I_5 = 0.05434$$

$$\Delta\sigma_{z(2)} = \frac{5}{16}\,(0.05434) = \mathbf{0.01698}\ \text{kN/m}^2$$



Belasting 2 ligt dichterbij: **0.01698**; belasting 1: **0.01058 kN/m²**.

Oplossing (2/2)

OPLOSSING

1 Spanningen worden gesommeerd

$$\Delta\sigma_z = \Delta\sigma_{z(1)} + \Delta\sigma_{z(2)} = 0.01058 + 0.01698 = \mathbf{0.02756}\ \mathrm{kN/m^2}$$

$$\Delta\sigma_{z,B} = 0.01419 + 0.02442 = 0.03862\ \mathrm{kN/m^2}$$

2 Diepteprofiel onder hetzelfde punt (som van de twee belastingen)

z (m)	2	4	6	8	10	12	16	20
$\Delta\sigma_z$ volgens Westergaard	0.0174	0.0276	0.0301	0.0282	0.0247	0.0210	0.0150	0.0108
$\Delta\sigma_z$ Boussinesq	0.0137	0.0386	0.0430	0.0371	0.0298	0.0237	0.0153	0.0105

In punt A (z = 4 m) leveren de twee belastingen samen **$\Delta\sigma_z$ = 0.02756 kN/m²**; de Boussinesq-som is 0.03862 kN/m². Het totaal is de som van de waarden die voor elke belasting afzonderlijk zijn gevonden; de waarde van een enkele belasting (Voorbeeld 1) is een deel van dit totaal.

Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

Samenvatting

Belangrijkste punten

Westergaard-medium: dunne starre horizontale platen verhinderen laterale vervorming; $\Delta\sigma_z = (P/z^2)\, I_5$, $I_5 = [1/(2\pi\eta^2)]\,[(r/\eta z)^2 + 1]^{-3/2}$, $\eta = \sqrt{[(1 - 2\mu_s)/(2 - 2\mu_s)]}$

Voorbeeld ($P = 5$ kN, $r = 5$ m, $z = 4$ m, $\mu_s = 0.3$): η 0.5345; $r/(\eta z)$ 2.339; I_5 0.03386 → $\Delta\sigma_z = 0.01058$ kN/m²; Boussinesq 0.01419

Op de belastingsas $I_5 = 1/(2\pi\eta^2)$: voor $\mu_s = 0$ is $1/\pi = 0.3183$ (Boussinesq $3/2\pi = 0.4775$); de spanning neemt toe met μ_s, en bij $\mu_s = 0.5$ verliest de oplossing haar geldigheid

Diepte: op middelgrote diepte is de spanning volgens Westergaard kleiner, op grote diepte naderen de twee oplossingen elkaar; de maximale spanning treedt op bij $z = r/(\sqrt{2}\,\eta) = 6.61$ m (Boussinesq: $r\sqrt{1.5} = 6.12$ m)

Superpositie: elke belasting wordt met haar eigen afstand r beschouwd en de spanningen worden gesommeerd (twee belastingen in het voorbeeld: 0.02756 kN/m²)

Literatuur

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

Westergaard, H.M. (1938). A problem of elasticity suggested by a problem in soil mechanics: soft material reinforced by numerous strong horizontal sheets. In Contributions to the Mechanics of Solids, Stephen Timoshenko 60th Anniversary Volume. Macmillan, New York, 268–277.

OPMERKING

Alle numerieke voorbeelden zijn geproduceerd met de eigen berekeningsmotor van de module; de module geeft dezelfde waarden. Het openingsvoorbeeld van de module is P = 5 kN, r = 5 m, μ_s = 0.3 en z = 4 m.

GeoTerva

Online geotechnische berekeningen

Van theorie naar praktijk

Voer uw eigen afzonderlijke belastingen, punt A en de waarde van μ_s in GeoTerva in; de module levert η, de invloedsfactor I_5, de bijdrage van elke belasting, de vergelijking met Boussinesq, het diepteprofiel, de stapsgewijze oplossing en het rapport in samenhang.

Module openen → | **Theoriepagina →**

Openen op de smartphone
Proefmodules vereisen geen registratie.

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