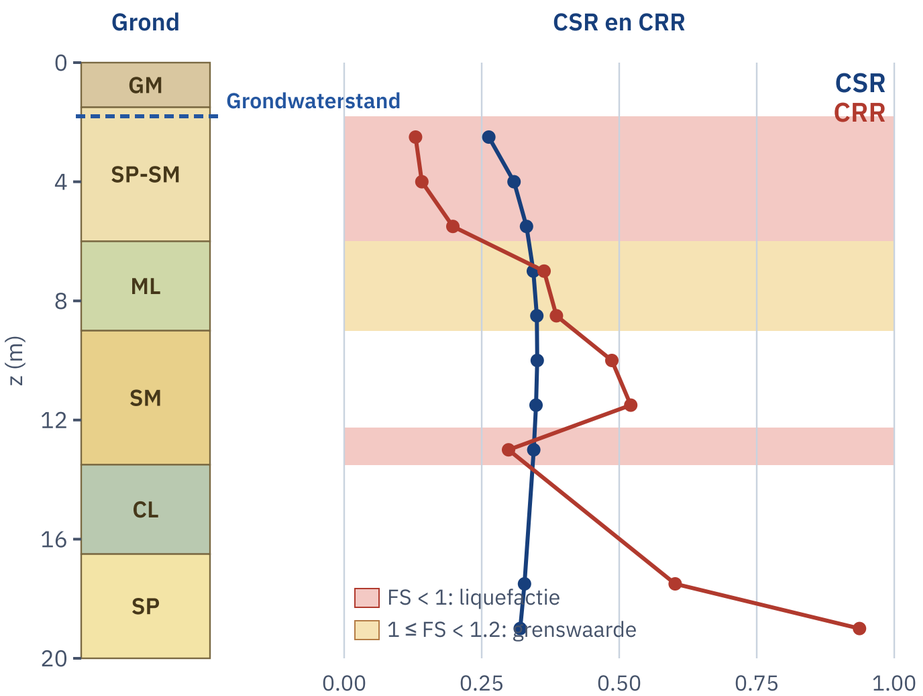
Geotechnisch college · Liquefactie

Liquefacietriggering met SPT

College: liquefactietriggering op basis van SPT (Idriss–Boulanger); één boring en één testpunt worden volledig met de hand uitgewerkt, de overige punten met tabellen.

Correcties | CSR · CRR | MSF · Kσ | FS en zones | Met de hand oplosbaar



Wat leren we in dit college?

De **spanningsgebaseerde** beoordeling van liquefactie: de aardbevingsvraag **CSR** wordt vergeleken met de weerstand van de grond **CRR**; **FS = CRR / CSR**

Correcties van het ruwe SPT-slagtal N_{30} naar $\mathbf{(N_1)_{60cs}}$: energie, stanglengte, deklaagdruk en fijngehalte

CSR (r_d, σ_v/σ'_v), de CRR-kromme, **magnitudeschaling** MSF en de **deklaagcoëfficiënt** K_σ

Welke proeven door **screening** buiten de berekening vallen; hoe de zones en de liquefactiegevoelige dikte worden bepaald

Bij één boring de **enkele proefpunt volledig met de hand**, de overige met dezelfde stappen in de tabel

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: boring BH-1 (grondwaterstand 1.80 m; 0–1.5 m ophoging, 1.5–6 m los zand …); a_{max} = 0.35 g, M = 7.5, hamenergieverhouding 60%, $FS_{vereist}$ = 1.20.

Welke proef wordt beoordeeld?

THEORIE

Een proef wordt beoordeeld indien deze **onder de grondwaterstand** ligt, niet dieper is dan $\mathbf{z_{max}}$ (standaard 20 m) en de grond zich **als zand gedraagt**

Grond met plasticiteitsindex PI ≥ PI_{lim} (standaard 7) is **kleiachtig**; als PI niet is gegeven, duidt het symbool CL, CH, OL, OH of PT hierop

Klei-achtige grond kan onder cyclische belasting **verzwakken**, maar liqueficeert niet in de hier gebruikte betekenis: dit wordt aan de toets op cyclische verzwakking overgelaten

Niet-beoordeelde proeven blijven in alle tabellen staan **met hun redenen**. De gevolgen van liquefactie (zetting, laterale spreiding, verlies van draagvermogen) vallen buiten de scope van deze versie

Totale, poriënwater- en effectieve verticale spanning

THEORIE

γ boven de grondwaterstand; **γ_{sat}** eronder; laag voor laag gesommeerd. De poriënwaterspanning is **hydrostatisch** vanaf de grondwaterstand naar beneden (z_W is de grondwaterstandsdiepte van de boring)

De effectieve spanning σ'_v wordt zowel in de CSR als in de correcties voor de deklaagdruk gebruikt

$$\sigma_v = \sum \gamma_i \, h_i \qquad u = \gamma_w \, (z - z_w) \qquad \sigma'_v = \sigma_v - u$$

We berekenen de effectieve spanning alleen voor proeven onder de grondwaterstand: boven de grondwaterstand is u = 0 en wordt de proef uitgesloten.

Van N_{30} naar N_{60}

THEORIE

Het ruwe slagtal N_{30} (laatste 30 cm) wordt herleid naar de standaardstaaf met **60% energie**: C_E = ER/60 (hamer), C_B (boorgatdiameter), C_S (monsterbuis)

C_R is afhankelijk van de staaflengte: staaflengte = z + lengte boven het maaiveld (hier 1.5 m)

$$N_{60} = N_{30} \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_S \cdot C_R$$

Staaflengte (m)	< 3	3 – 4	4 – 6	6 – 10	≥ 10
C_R	0.75	0.80	0.85	0.95	1.00

$N_{60} \rightarrow (N_1)_{60} \rightarrow (N_1)_{60cs}$

THEORIE

C_N brengt de meting naar een effectieve spanning van 1 atm (P_a = 101.3 kPa); omdat de exponent m van het resultaat zelf afhangt, wordt deze **door iteratie** gevonden; $C_N \leq 1.7$

Fijne delen verhogen de zandachtige weerstand: met FC (percentage, de eigen waarde van de proef indien gemeten, anders de waarde van de laag) wordt overgegaan op het schone-zandequivalent

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_v}\right)^m \leq 1.7 \qquad m = 0.784 - 0.0768\sqrt{(N_1)_{60cs}} \qquad (N_1)_{60} = C_N N_{60}$$

$$\Delta(N_1)_{60} = \exp\left[1.63 + \frac{9.7}{FC + 0.01} - \left(\frac{15.7}{FC + 0.01}\right)^2\right] \qquad (N_1)_{60cs} = (N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60}$$

FC (%)	0	5	10	15	20	25	30	35	50
$\Delta(N_1)_{60}$	0.00	0.00	1.15	3.26	4.48	5.07	5.36	5.51	5.61

Aardbevingsbelasting: CSR en r_d

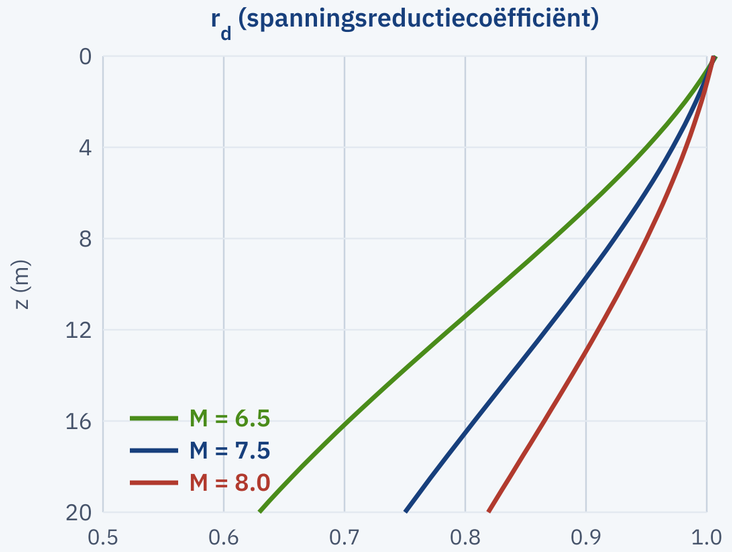
THEORIE

CSR is de verhouding van de cyclische schuifspanning die de aardbeving op de grond uitoefent tot de effectieve spanning; 0.65 vertegenwoordigt de gemiddelde spanning, σ_V/σ'_V het effect van de diepte

r_d (spanningsreductiecoëfficiënt) neemt af met de diepte en de magnitude; aan het oppervlak is deze gelijk aan 1

$$CSR = 0.65\,\frac{\sigma_v}{\sigma'_v}\,a_{max}\,r_d \qquad r_d = \exp[\alpha(z) + \beta(z)M]$$

$$\alpha = -1.012 - 1.126\sin\left(\frac{z}{11.73} + 5.133\right) \qquad \beta = 0.106 + 0.118\sin\left(\frac{z}{11.28} + 5.142\right)$$



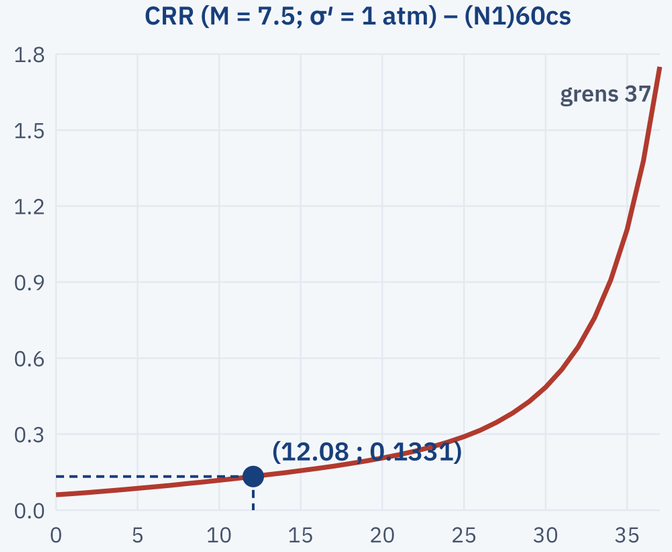
Weerstand van de grond: CRR-curve

THEORIE

$CRR_{M=7.5;\,\sigma'=1}$ hangt alleen af van $\mathbf{(N_1)_{60cs}}$ (kromme van Idriss–Boulanger); geldig voor M = 7.5 en σ'_v = 1 atm

De curve wordt gebruikt tot $\mathbf{(N_1)_{60cs} = 37}$; een dichtere proef wordt op deze grens geëvalueerd en er wordt een waarschuwing gegeven

$$CRR_{7.5,1} = \exp\left[\frac{n}{14.1} + \left(\frac{n}{126}\right)^2 - \left(\frac{n}{23.6}\right)^3 + \left(\frac{n}{25.4}\right)^4 - 2.8\right] \qquad n = (N_1)_{60cs}$$



MSF en K_σ

THEORIE

MSF magnitudeschaling: CRR geldt voor M = 7.5; bij andere magnitudes brengt de MSF het verschil in het aantal cycli in rekening. Voor M < 7.5 geldt MSF > 1

K_σ deklagcoëfficiënt: CRR geldt voor 1 atm; naarmate σ'_v toeneemt, neemt de weerstandsverhouding af. $K_\sigma \leq 1.1$

$$MSF = 1 + (MSF_{max} - 1)\left(8.64\, e^{-M/4} - 1.325\right) \qquad MSF_{max} = 1.09 + \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{31.5}\right)^2 \leq 2.2$$

$$K_\sigma = 1 - C_\sigma \ln \frac{\sigma'_v}{P_a} \leq 1.1 \qquad C_\sigma = \frac{1}{18.9 - 2.55\sqrt{(N_1)_{60cs}}} \leq 0.3$$

FS = CRR / CSR; zone en dikte

THEORIE

CRR = $CRR_{7.5;1}$ · MSF · K_σ; **FS = CRR / CSR**. FS < 1: **liquefactie wordt geïnitieerd**; 1 ≤ FS < $FS_{vereist}$ (1.20): **grenswaarde**; de vereiste waarde is een invoergegeven uit de projectspecificatie

Elke geëvalueerde test vertegenwoordigt zijn eigen laag: tot het **midden** tussen de test boven en de test onder; bij de laaggrens en bij de grondwaterstand stopt het interval

Als aangrenzende intervallen hetzelfde resultaat geven, worden ze samengevoegd tot één **zone**; de **liquefieerbare dikte** van een boring is de som van de zones met FS < 1

$$CRR = CRR_{7.5,1} \cdot MSF \cdot K_\sigma \qquad FS = \frac{CRR}{CSR}$$

Opgave

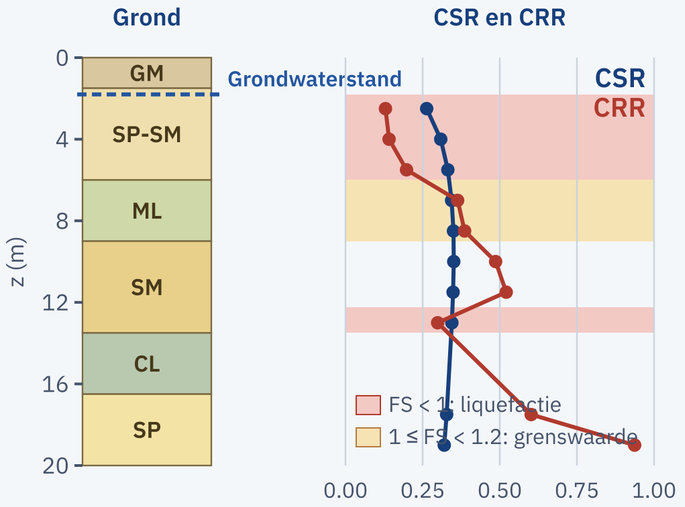
VOORBEELD

Gegeven

Boring BH-1	**Grondwaterstand $z_w = 1.80$ m; 0–1.5 m ophoging (GM): $\gamma = 18.5$; 1.5–6 m los zand (SP-SM): $\gamma = 18.0$, $\gamma_{sat} = 19.5$ kN/m³, FC = 8 %**
Proef	$z = 4.0$ **op** $N_{30} = 10$ **m (onder de grondwaterstand)**
Aardbeving en uitrusting	$a_{max} = 0.35g$, $M = 7.5$; **ER = 60%** ($C_E = C_B = C_S = 1$), **staaf lengte =** $z + 1.5$ **m;** $FS_{req} = 1.20$

GEVRAAGD

Spanningen, **N_{60}**, **$(N_1)_{60cs}$** (via iteratie), **CSR**, **CRR** en **FS**.



Oplossing (1/5)

OPLOSSING

1 Totale verticale spanning (laag voor laag; grondwaterstand 1.80 m)

$$\sigma_v = 18.5(1.5) + 18.0(1.80 - 1.5) + 19.5(4.0 - 1.80) = 27.75 + 5.40 + 42.90 = \mathbf{76.05}\ \mathrm{kPa}$$

2 Poriënwaterspanning en effectieve spanning

$$u = \gamma_w(z - z_w) = 9.81(4.0 - 1.80) = \mathbf{21.58}\ \mathrm{kPa}$$

$$\sigma'_v = \sigma_v - u = 76.05 - 21.58 = \mathbf{54.47}\ \mathrm{kPa}$$

De toets ligt **2.20 m** onder de grondwaterstand: σ_v = 76.05, u = 21.58, **σ'_v = 54.47 kPa**. Dit punt is waar de kleinste FS van de boring optreedt (figuur op de pagina met de opgave).

Oplossing (2/5)

OPLOSSING

3 Correctie voor de staaflengte en N_{60}

$$L = z + 1.5 = 5.5\ \text{m} \Rightarrow C_R = 0.85 \qquad N_{60} = 10(1)(1)(1)(0.85) = \mathbf{8.50}$$

4 toename van fijngehalte

$$\Delta(N_1)_{60} = \exp[1.63 + 9.7/8.01 - (15.7/8.01)^2] = \exp[-1.0008] = \mathbf{0.3676}$$

5 Deklaagcorrectie: aangezien C_N afhangt van $(N_1)_{60cs}$, is iteratie nodig (σ'_v = 54.47 kPa)

Iteratie	n (invoer)	m	C_N	$(N_1)_{60} = C_N N_{60}$	$(N_1)_{60cs} = + \Delta$
1	8.5000	0.5601	1.4158	12.0339	12.4015
2	12.4015	0.5135	1.3754	11.6912	12.0587
3	12.0587	0.5173	1.3786	11.7185	12.0861
…	…	…	…	…	…
8	12.0840	0.5170	1.3784	11.7165	12.0840

Het convergeert in 8 iteraties: **C_N = 1.3784**, $(N_1)_{60}$ = 11.716, **$(N_1)_{60cs}$ = 12.08**.

Oplossing (3/5)

OPLOSSING

6 Spanningsreductiecoëfficiënt r_d (z = 4.0 m, M = 7.5)

$$\alpha = -1.012 - 1.126 \sin\left(\frac{4}{11.73} + 5.133\right) = -0.1971$$

$$\beta = 0.106 + 0.118 \sin\left(\frac{4}{11.28} + 5.142\right) = 0.0225$$

$$r_d = \exp[\alpha + \beta M] = \exp[-0.1971 + 0.0225(7.5)] = \mathbf{0.9718}$$

7 Cyclische spanningsratio

$$CSR = 0.65 \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} a_{max}\, r_d = 0.65 \left(\frac{76.05}{54.47}\right)(0.35)(0.9718) = \mathbf{0.3087}$$

De aardbeving oefent op deze diepte een cyclische schuifspanning uit van **30.9** procent van de effectieve spanning (CSR = 0.3087).

Oplossing (4/5)

OPLOSSING

8 Puntweerstand voor M = 7.5 en σ′ = 1 atm ($(N_1)_{60cs}$ = 12.08)

$$CRR_{7.5,1} = \exp\left[\frac{12.08}{14.1} + \left(\frac{12.08}{126}\right)^2 - \left(\frac{12.08}{23.6}\right)^3 + \left(\frac{12.08}{25.4}\right)^4 - 2.8\right]$$

$$CRR_{7.5,1} = \exp[-2.0168] = \mathbf{0.1331}$$

9 Magnitude- en deklaagdrukcoëfficiënten

$$MSF_{max} = 1.09 + (12.08/31.5)^2 = 1.2372$$

$$MSF = 1 + (1.2372 - 1)(8.64\,e^{-7.5/4} - 1.325) = \mathbf{1.0000}$$

$$C_\sigma = 1/(18.9 - 2.55\sqrt{12.08}) = 0.0996 \qquad K_\sigma = 1 - 0.0996\ln(54.47/101.325) = \mathbf{1.0619}$$

$CRR_{7.5;1}$ = **0.1331**; MSF = **1.0000**; K_σ = **1.0619**: het product van deze drie getallen geeft CRR (volgende pagina).

Oplossing (5/5)

OPLOSSING

10 Weerstand en veiligheidsfactor

$$CRR = CRR_{7.5,1} \cdot MSF \cdot K_\sigma = 0.1331(1.0000)(1.0619) = \mathbf{0.1413}$$

$$FS = \frac{CRR}{CSR} = \frac{0.1413}{0.3087} = \mathbf{0.458}$$

FS = 0.458 < 1: in deze test wordt liquefactie **geactiveerd**. De test vertegenwoordigt het interval 3.25 – 4.75 m (middens van de test hierboven op 2.5 m en die hieronder op 5.5 m). Dezelfde tien stappen worden bij elke test herhaald.

Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

Opgave

VOORBEELD

Gegeven

Boring BH-1	**13 SPT:** $z = 1.0$ **–** 19.0 **m; grondwaterstand** 1.80 **m;** $z_{max} = 20$ **m;** $PI_{lim} = 7$
Lagen	**GM (0–1.5), SP-SM (1.5–6), ML** $PI = 5$ **(6–9), SM (9–13.5), CL** $PI = 18$ **(13.5–16.5), SP (16.5–20)**

GEVRAAGD

Voor elke proef de beslissing **wel / niet beoordeeld** en de onderbouwing daarvan.

Oplossing

OPLOSSING

z (m)	N_{30}	Grond	PI	Grondwaterstand?	Klei-achtig?	Beslissing
1.0	9	GM	–	**boven**	–	**niet beschouwd**: boven de grondwaterstand
2.5	7	SP-SM	–	onder	nee	wordt bepaald
4.0	10	SP-SM	–	onder	nee	wordt bepaald
5.5	16	SP-SM	–	onder	nee	wordt bepaald
7.0	21	ML	5	onder	nee	wordt bepaald
8.5	22	ML	5	onder	nee	wordt bepaald
10.0	27	SM	–	onder	nee	wordt bepaald
11.5	29	SM	–	onder	nee	wordt bepaald
13.0	25	SM	–	onder	nee	wordt bepaald
14.5	13	CL	18	onder	ja	**niet beschouwd**: klei-achtig (PI ≥ 7)
16.0	15	CL	18	onder	ja	**niet beschouwd**: klei-achtig (PI ≥ 7)
17.5	40	SP	–	onder	nee	wordt bepaald
19.0	44	SP	–	onder	nee	wordt bepaald

Van de 13 tests worden **3 uitgesloten**: 1.0 m (boven de grondwaterstand) en 14.5 en 16.0 m (CL, PI = 18 ≥ 7). De ML-laag (PI = 5 < 7) wordt niet als klei-achtig beschouwd; de tests op 7.0 en 8.5 m **worden wel beoordeeld** (FC = 62 %). De uitgesloten tests blijven wel in de tabellen staan.

Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

Opgave

VOORBEELD

Gegeven

Boring	**BH-1 en de parameters uit Voorbeeld 1; tien stappen identiek voor elke proef**
Zoneregel	**elke proef strekt zich in de eigen laag uit tot het midden tussen de naburige proeven; zij stopt bij de laaggrens en bij de grondwaterstand**

GEVRAAGD

Tabel van alle proeven; **geliquefeerde zones**, **geliquefeerde dikte** en de kleinste FS.

Oplossing (1/2)

OPLOSSING

z (m)	N_{30}	Grond	FC %	σ_v	σ'_v	N_{60}	C_N	$(N_1)_{60cs}$	CSR	CRR	FS	Toestand
1.0	9	GM	20	–	–	6.75	1.700	15.95	–	–	–	*Boven de grondwaterstand*
2.5	7	SP-SM	8	46.8	39.9	5.95	1.652	10.19	0.263	0.130	0.493	Liquefeert
4.0	**10**	**SP-SM**	**8**	**76.1**	**54.5**	**8.50**	**1.378**	**12.08**	**0.309**	**0.141**	**0.458**	**Liquefeert**
5.5	16	SP-SM	8	105.3	69.0	15.20	1.191	18.46	0.332	0.198	0.596	Liquefeert
7.0	21	ML	62	134.1	83.0	19.95	1.079	27.13	0.344	0.363	1.056	Op de grens
8.5	22	ML	62	162.6	96.8	22.00	1.017	27.98	0.350	0.386	1.102	Op de grens
10.0	27	SM	18	191.9	111.4	27.00	0.966	30.18	0.351	0.487	1.386	Veilig
11.5	29	SM	18	221.6	126.4	29.00	0.924	30.89	0.349	0.521	1.494	Veilig
13.0	25	SM	18	251.2	141.4	25.00	0.878	26.03	0.345	0.299	0.867	Liquefeert
14.5	13	CL	88	–	–	13.00	0.816	16.12	–	–	–	*klei-achtig (PI ≥ 7)*
16.0	15	CL	88	–	–	15.00	0.788	17.34	–	–	–	*klei-achtig (PI ≥ 7)*
17.5	40	SP	4	338.7	184.6	40.00	0.812	32.50	0.328	0.602	1.835	Veilig
19.0	44	SP	4	369.4	200.7	44.00	0.799	35.15	0.320	0.937	2.928	Veilig

Kleinste FS = 0.458 (z = 4.0 m). Liquefactiezones: **1.80 – 6.00 m** en **12.25 – 13.50 m**; op de grens: 6.00 – 9.00 m. Geliquefieerde dikte = 5.45 m. De rij van 4.0 m is Voorbeeld 1, met de hand uitgewerkt.

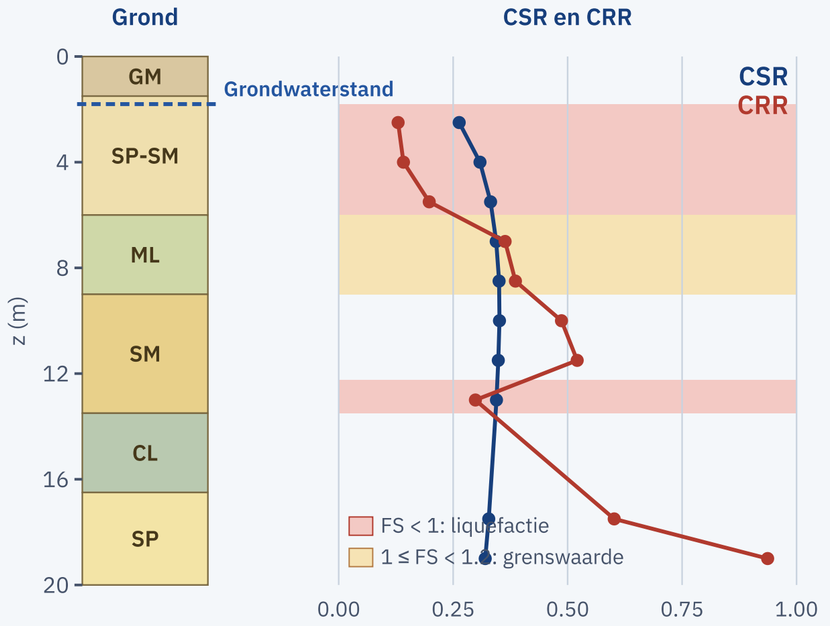
Oplossing (2/2)

OPLOSSING

1 Elke proef vertegenwoordigt een eigen interval; aangrenzende intervallen met hetzelfde resultaat worden samengevoegd

Zone	Bereik (m)	Dikte (m)	Tests	FS-bereik
Liquefactiegevoelig 1	1.80 – 6.00	4.20	2.5; 4.0; 5.5 m	0.458 – 0.596
Op de grens	6.00 – 9.00	3.00	7.0; 8.5 m	1,056 – 1,102
Liquefactiegevoelig 2	12.25 – 13.50	1.25	13.0 m	0.867
Totaal geliquefieerd		**5.45**		

Voorbeeld: de test op 4.0 m vertegenwoordigt 3.25 – 4.75 m; de test op 2.5 m omvat 1.80 – 3.25 m (stopt bij de grondwaterstand), de test op 5.5 m omvat 4.75 – 6.00 m (stopt bij de laaggrens): samen **4.20 m**. De liquefactiegevoelige dikte van de boring is 5.45 m.



Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

Opgave

VOORBEELD

Gegeven

Basisgeval	**BH-1:** $a_{max} = 0.35g$, $M = 7.5$, **grondwaterstand** 1.80 **m, ER = 60%**
Variabelen	**telkens slechts één:** $a_{max} = 0.25g$ **/** $0.45g$**;** $M = 6.5$ **/** 8.0**; grondwaterstand** 3.0 **m /** 1.0 **m; ER 45% / 80%**

GEVRAAGD

De **kleinste FS** en de **dikte van de geliquefieerde laag** van BH-1; handmatige controle van de MSF in de test op 4.0 m.

Oplossing (1/2)

OPLOSSING

Toestand	Wijziging	Kleinste FS	z (m)	Geliquefieerde dikte (m)	Op de grens (m)
Basis	a_{max} 0.35g; M 7.5; grondwaterstand 1.8; ER 60	**0.458**	4.0	5.45	3.00
a_{max} neemt af	0.25g	**0.641**	4.0	4.20	0.00
a_{max} neemt toe	0.45g	**0.356**	4.0	8.45	3.25
Magnitude neemt af	M 6.5	**0.510**	4.0	4.20	0.00
Magnitude neemt toe	M 8.0	**0.436**	4.0	8.45	3.25
Grondwaterstand wordt dieper	3.0 m	**0.517**	4.0	4.00	3.00
Grondwaterstand stijgt	1.0 m	**0.412**	2.5	5.75	3.00
Energie neemt af	ER %45 (C_E 0.75)	**0.388**	4.0	15.20	0.00
Energie neemt toe	ER %80 (C_E 1.33)	**0.560**	4.0	4.20	0.00

a_{max} is de meest invloedrijke invoer: bij 0.25g is de liquefieerbare dikte 4.20 m, bij 0.45g 8.45 m. Het effect van de **hamerenergie** is onverwacht groot: bij ER 45 % neemt N_{60} af en stijgt de liquefieerbare dikte tot 15.20 m. Het **kennen** van de gemeten energieratio is daarom belangrijk.

Oplossing (2/2)

OPLOSSING

1 Magnitudeschalingsfactor voor M = 6.5 en M = 8.0 ($(N_1)_{60cs}$ = 12.08)

$$MSF_{6.5} = 1 + (1.2372 - 1)(8.64\,e^{-6.5/4} - 1.325) = \mathbf{1.0892}$$

$$MSF_{8.0} = 1 + (1.2372 - 1)(8.64\,e^{-8.0/4} - 1.325) = \mathbf{0.9631}$$

2 Bij dezelfde proef (4.0 m) FS

M	r_d	CSR	MSF	CRR	FS
6.5	0.9502	0.3018	1.0892	0.1539	**0.510**
7.5	0.9718	0.3087	1.0000	0.1413	**0.458**
8.0	0.9828	0.3122	0.9631	0.1361	**0.436**

Een kleinere magnitude betekent minder cycli: MSF neemt toe en FS wordt 0.458 → **0.510**; voor M = 8.0 is FS 0.436. Zowel r_d als MSF is afhankelijk van de magnitude; beide werken in dezelfde richting.

Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

Opgave

VOORBEELD

Gegeven

Boringen	**BH-1 (grondwaterstand 1.80 m), BH-2 (2.40 m), BH-3 (3.10 m); dezelfde parameters**
Doorsnede	**BH-1 $x = 0$, BH-2 $x = 32$, BH-3 $x = 70$ m**

GEVRAAGD

De **kleinste FS** van elke boring, de **geliquefeerde** en **marginale** dikten; projectsamenvatting.

Oplossing

OPLOSSING

Boring	grondwaterstand (m)	Proef	Gefilterd	Kleinste FS	z (m)	Geliquefieerde zones (m)	Dikte (m)	Op de grens (m)
BH-1	1.80	13	3	**0.458**	4.0	1.80–6.00; 12.25–13.50	5.45	3.00
BH-2	2.40	13	3	**0.697**	3.0	2.40–5.25	2.85	3.50
BH-3	3.10	13	6	**0.841**	6.0	5.00–8.25	3.25	1.75

In alle drie de boringen wordt liquefactie geïnitieerd. Kleinste FS = 0.458 (BH-1, 4.0 m); de dikste geliquefieerde grond zit in BH-1 (5.45 m). Van 39 proeven zijn er 27 beoordeeld en 12 uitgesloten (boven de grondwaterstand of klei-achtig).

Als er een doorsnedelijn aanwezig is, wordt de kleurband lineair geïnterpoleerd tussen de boringen; het grijze gebied is grond die niet wordt beoordeeld.

Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

Samenvatting

Belangrijkste punten

FS = CRR / CSR; CSR = 0.65 (σ_v/σ'_v) a_{max} r_d; CRR = $CRR_{7.5;1} \cdot MSF \cdot K_\sigma$

N_{60} = N_{30} C_E C_B C_S C_R; **$(N_1)_{60cs}$** = C_N N_{60} + Δ(FC), waarbij C_N iteratief wordt bepaald

Voorbeeld (BH-1, 4.0 m): σ'_v 54.47 kPa; N_{60} 8.50; C_N 1.378; $(N_1)_{60cs}$ 12.08; CSR 0.3087; CRR 0.1413 (MSF 1.000, K_σ 1.062) → **FS 0.458**

Selectie: proeven boven de grondwaterstand, onder z_{max} en klei-achtige (PI ≥ 7) worden niet in de berekening meegenomen; **zone**: proeven strekken zich uit tot hun naburige middelpunten

Gevoeligheid: a_{max} en de gemeten hamerenergie zijn de invoergegevens die het resultaat het meest veranderen; de gevolgen van liquefactie zijn een afzonderlijke berekening

Literatuur

Boulanger, R.W., Idriss, I.M. (2014). CPT and SPT based liquefaction triggering procedures. Report UCD/CGM-14/01, University of California, Davis.

Idriss, I.M., Boulanger, R.W. (2008). Soil liquefaction during earthquakes. EERI, MNO-12.

Boulanger, R.W., Idriss, I.M. (2006). Liquefaction susceptibility criteria for silts and clays. J. Geotech. Geoenviron. Eng., 132(11).

Youd, T.L. et al. (2001). Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops. J. Geotech. Geoenviron. Eng., 127(10).

Seed, H.B., Idriss, I.M. (1971). Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. J. Soil Mech. Found. Div., 97(SM9).

OPMERKING

Alle numerieke voorbeelden zijn geproduceerd met de eigen berekeningsmotor van de module; de module geeft dezelfde waarden. Het openingsproject van de module bestaat uit deze drie boringen (a_{max} = 0.35g, M = 7.5).

GeoTerva

Online geotechnische berekeningen

Van theorie naar praktijk

Voer uw eigen boringen, SPT-resultaten, grondwaterstand en aardbevingsparameters in GeoTerva in; de module levert de correcties voor elke proef, CSR, CRR, FS, de zones, de liquefacteerbare dikte en de doorsnede met kleurbanden, samen met 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