

Aardbevingen Grond – Constructie-interactie

ir. Flip J. M. Hoefsloot

1 oktober 2015



bouwen met
staal



VEELZIJDIG • FLEXIBEL • DUURZAAM
www.bouwenmetstaal.nl

Inhoud

- Gebouwrespons algemeen
- Voorbeeld gebouw op palen – 3 benaderingen
- Site Response Analyse
- Grondonderzoek en –parameters bij aardbevingsanalyse
- Constructie – volledige inklemming fundering
- Horizontaal verende ondersteunde constructie
- Volledige dynamische analyse
- Vergelijking van 3 benaderingen
- Conclusies

Gebouwrespons - Algemeen

- Bepaal piekgrondversnelling aan maaiveld (design value)
- Bepaal eigenfrequentie gebouw
- Stijfheid fundering in rekening brengen?
 - Fundering op staal; stijfheid oneindig groot is redelijke benadering
 - Fundering op palen reduceert stijfheid
- Bepaal spectrale versnelling uit responsgrafiek
- Sterkteberekening met 'Lateral Force Method'

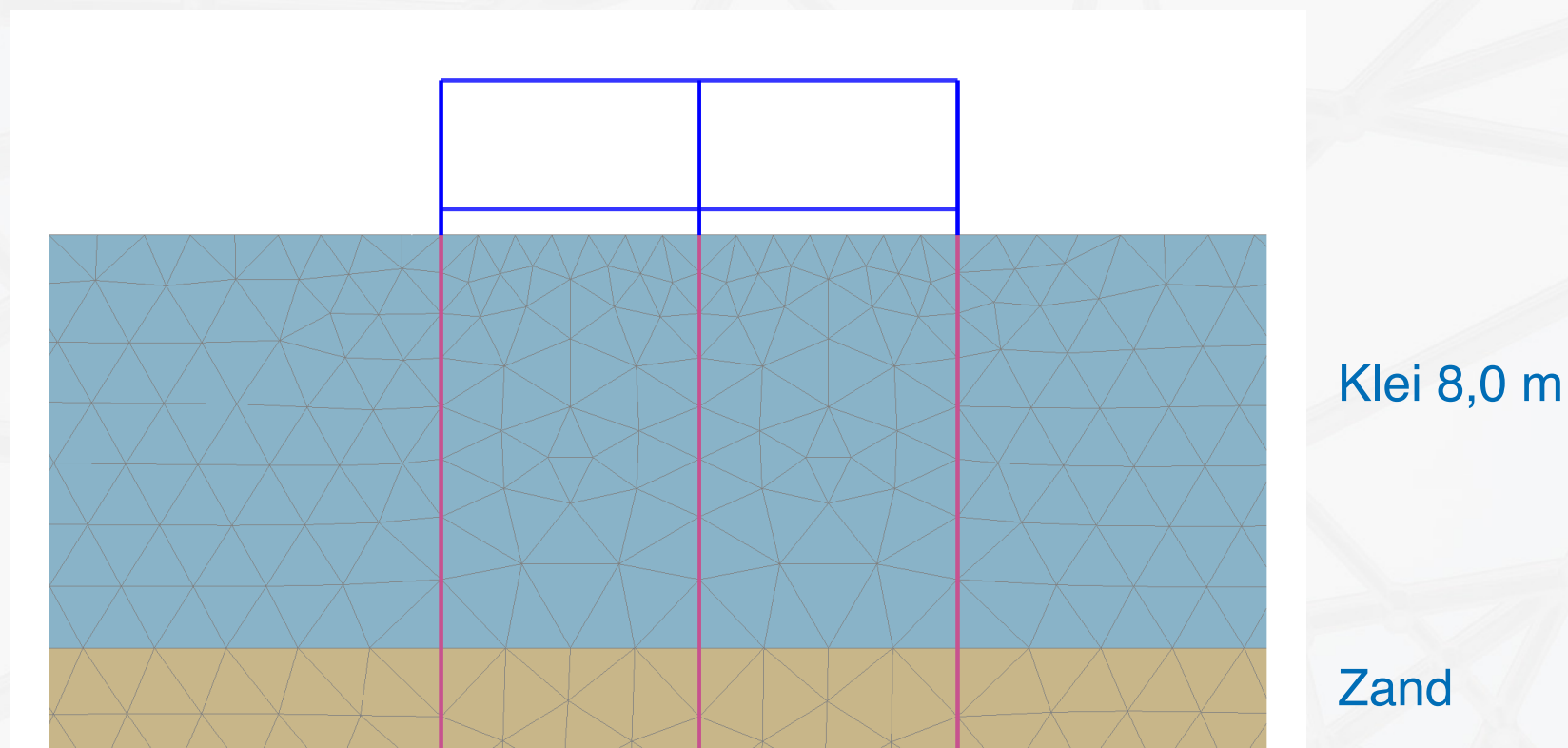
- Controle sterkte paalfundering
 - Dynamische belasting uit bovenbouw
 - Kinematische belasting uit interactie met horizontale grondvervorming
 - Maxima van beide belastingen treden niet gelijktijdig op

Voorbeeld: Gebouw op palen

Betonvloeren 0,3 m

3 Kolommenrijen vk 400 mm h.o.h. 5,0 m

3 Palenrijen vk 290 mm h.o.h. 5,0 m



Voorbeeld: 3 Benaderingen

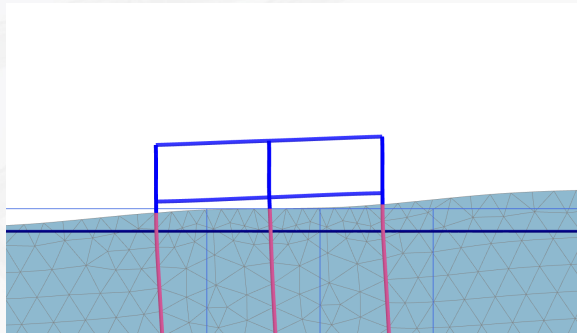


1 - Ingekleemde fundering

Bepaling eigenfrequentie bovenbouw

Responspectrum aardbeving aan MV

Bepaling respons en krachtsverdeling

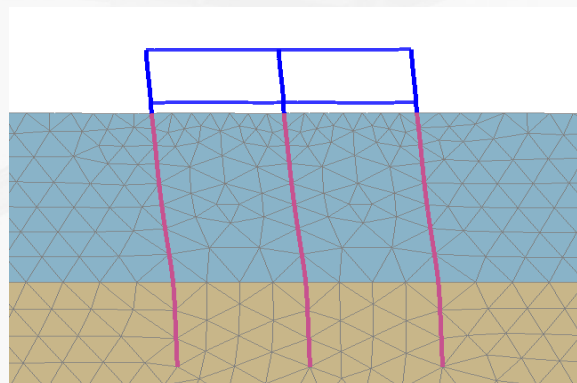


2 - Horizontaal verend ondersteunde constructie

Bepaling eigenfrequentie constructie inclusief fundering

Responspectrum aardbeving aan MV

Bepaling respons en krachtsverdeling



3 - Volledige dynamische berekening van constructie en fundering

Opgelegde versnelling op 'bedrock'-niveau

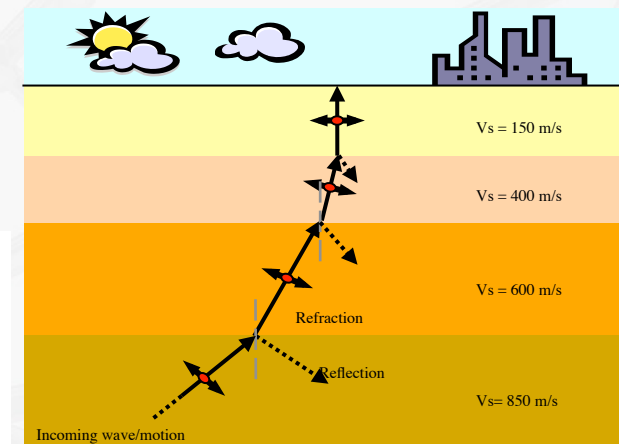
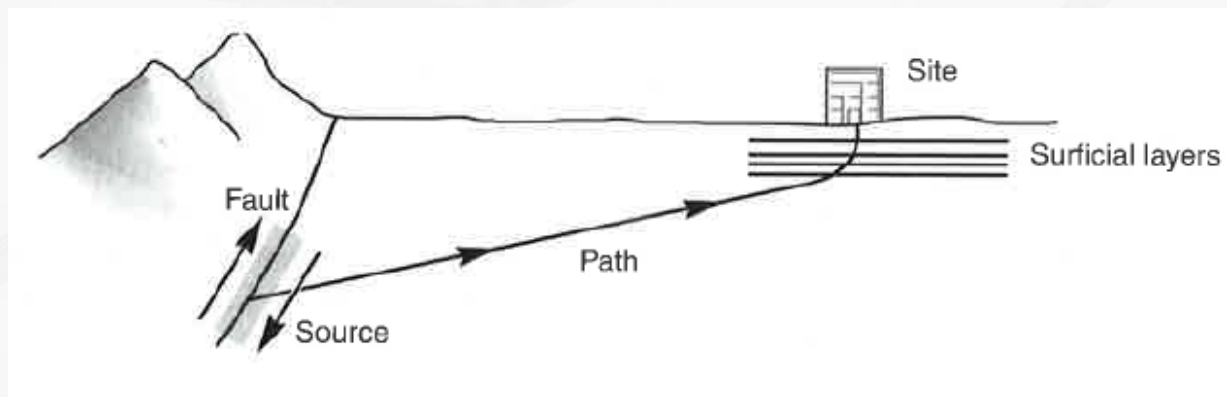
Site Response Analyse

Eéndimensionale Response Analyse

Response als gevolg van horizontaal inkomende schuifgolven

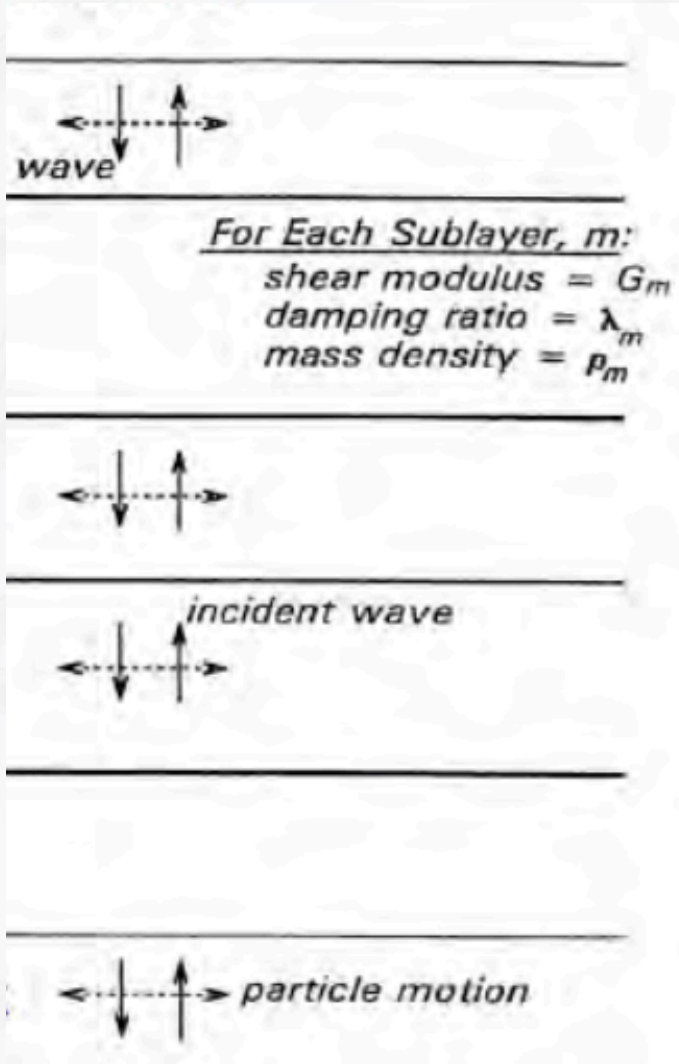
Afnemende golfvoortplantingsnelheid van diep naar ondiep

Refractie (Snellius) buigt golven in verticale voortplantingsrichting

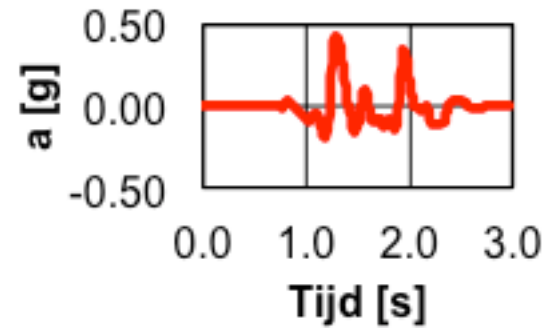


Site Response en Response Spectra

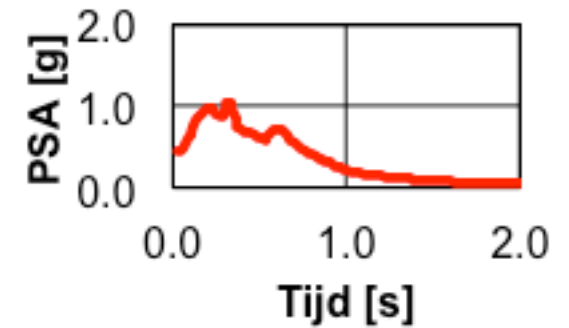
Voortplanting schuifgolven



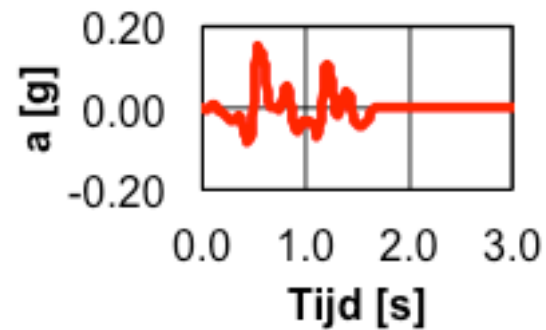
Site Response



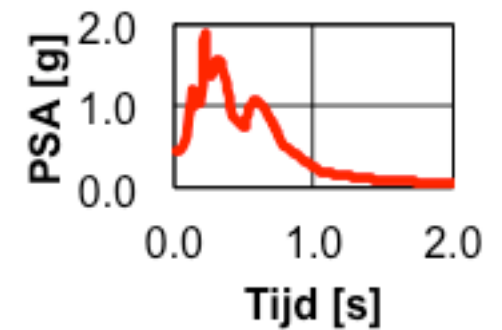
Response Spectrum



Incident Wave



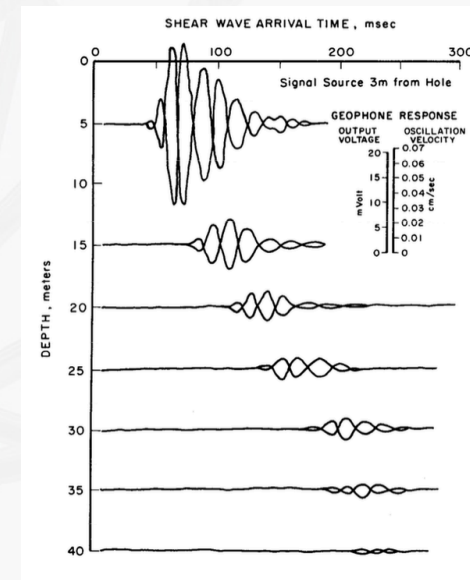
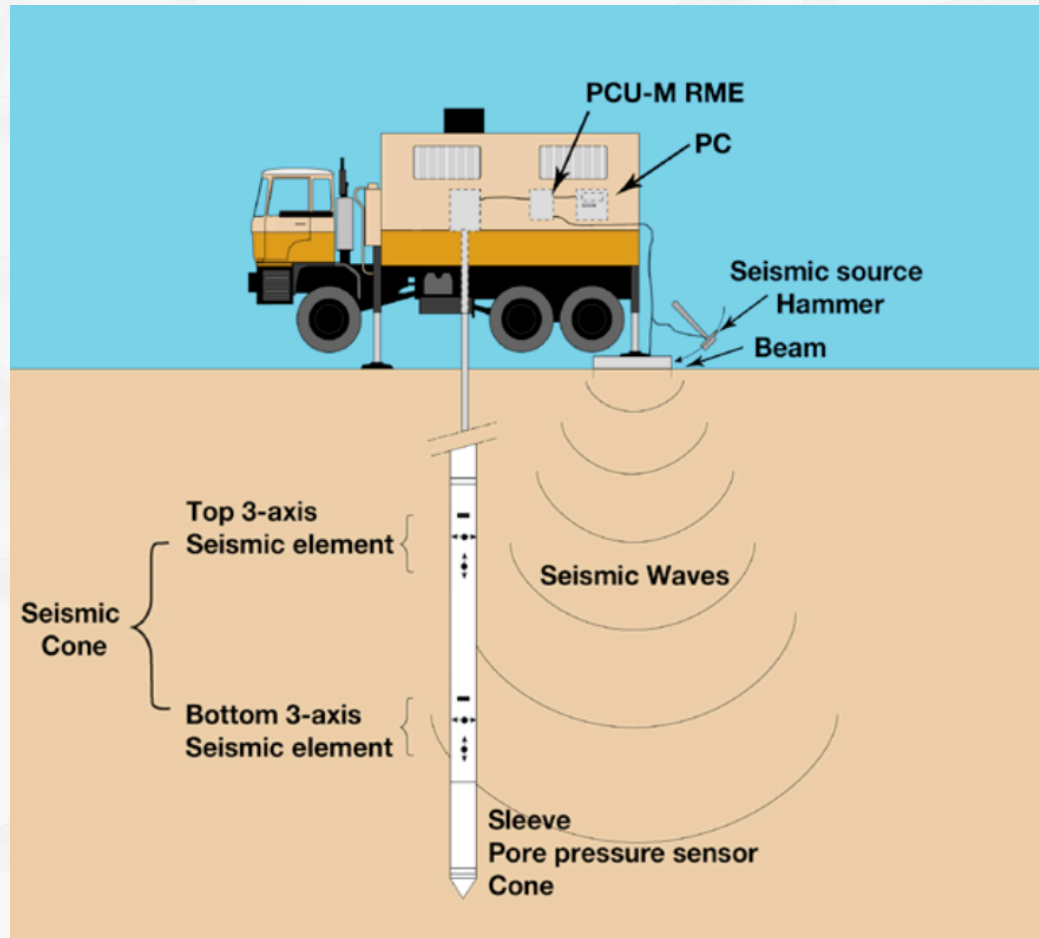
Response Spectrum



Dynamische grondparameters voor Site Respons

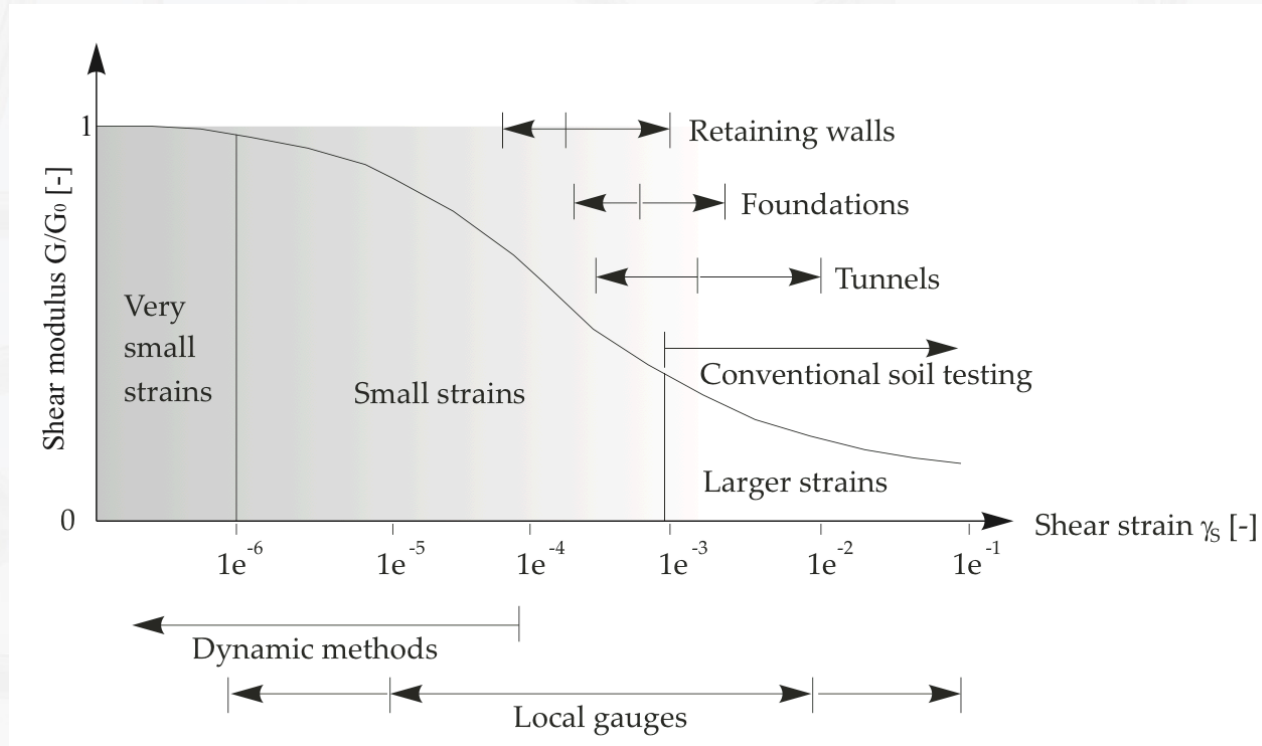
Seismische sondering (SCPT)

Bepaling schuifgolfvoortplantingsnelheid - diepte



Dynamische grondparameters voor Site Respons

Glijdingsmodulus is afhankelijk van schuifrekamplitude



Seismisc test: $\gamma < 10^{-6}$

$$G_0 = \rho v_s^2$$

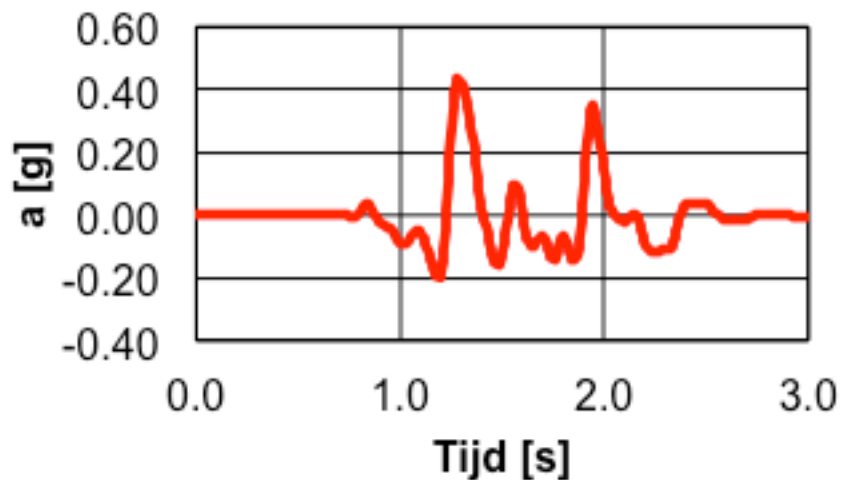
G_0 small strain shear modulus [N/m²]

ρ soil density [kg/m³] , mass including water

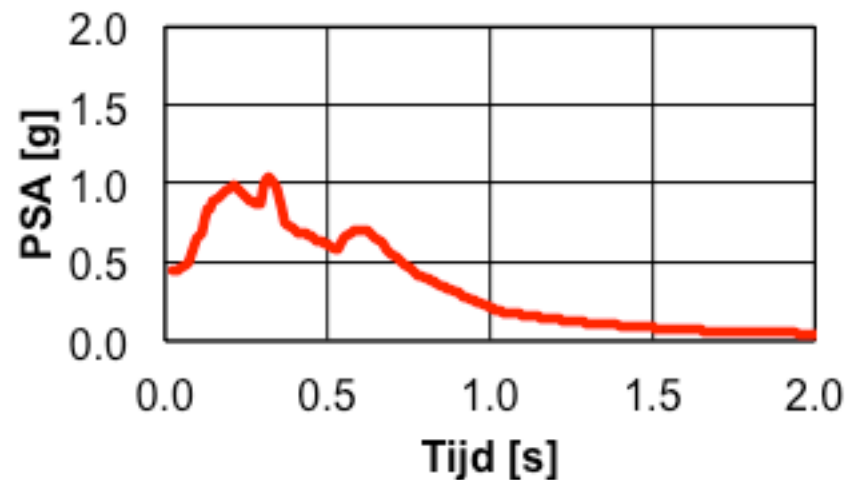
v_s shear wave velocity [m/s]

Site Response en Response Spectra

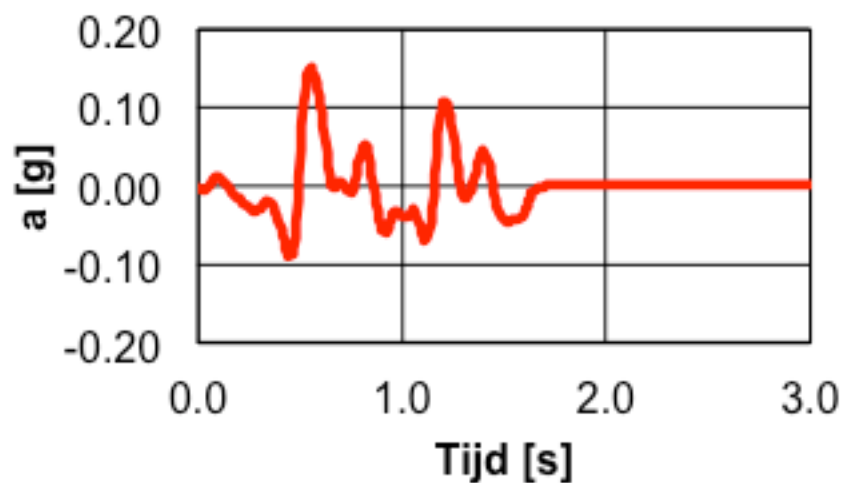
Site Response (0,44 g)



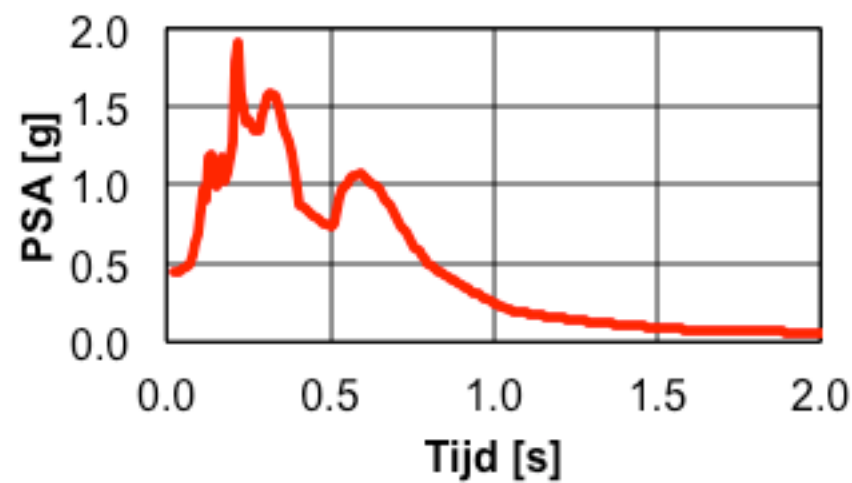
Response Spectrum (5 %)



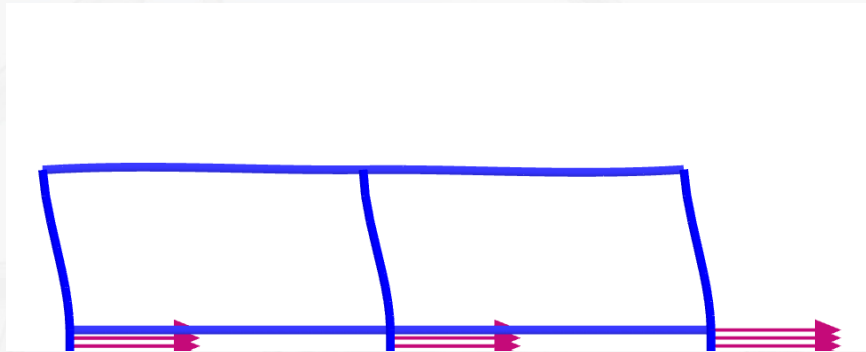
Incident Wave (0,15 g)



Response Spectrum (0 %)



Ingekleemde Fundering



Ingekleemde fundering (en vloer 0)

Bepaling 1^e eigenfrequentie bovenbouw

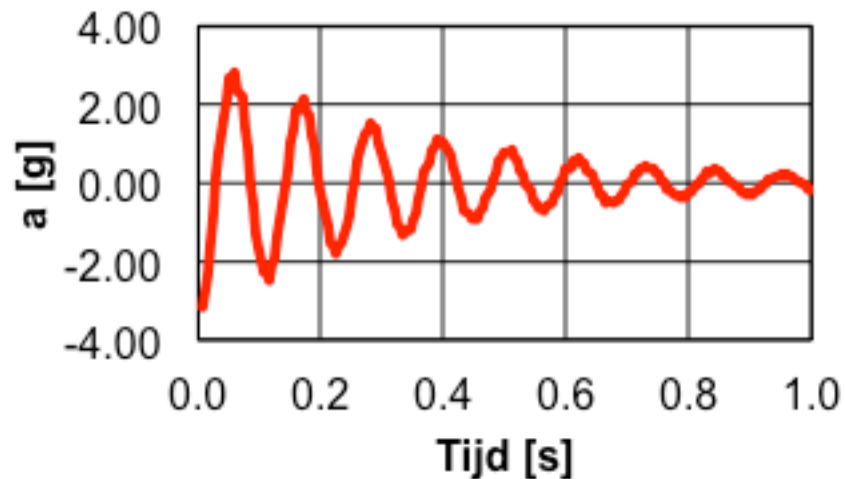
Opgelegde verplaatsing vloer +1

Dyn. vrije trilling: $f_0 = 9,0$ Hz, $T_0 = 0,11$ s

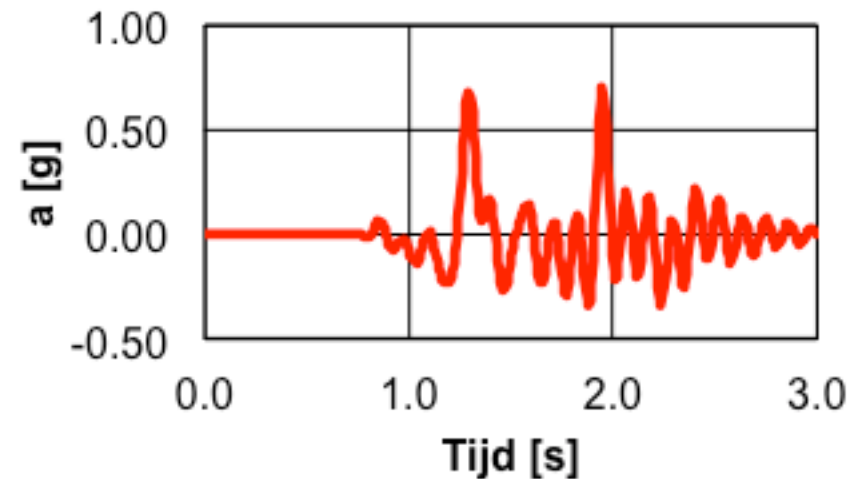
Respons spectrum aardbeving aan MV
 $a = 0,44$ g en 5% demping:

PSA = 0,69 g

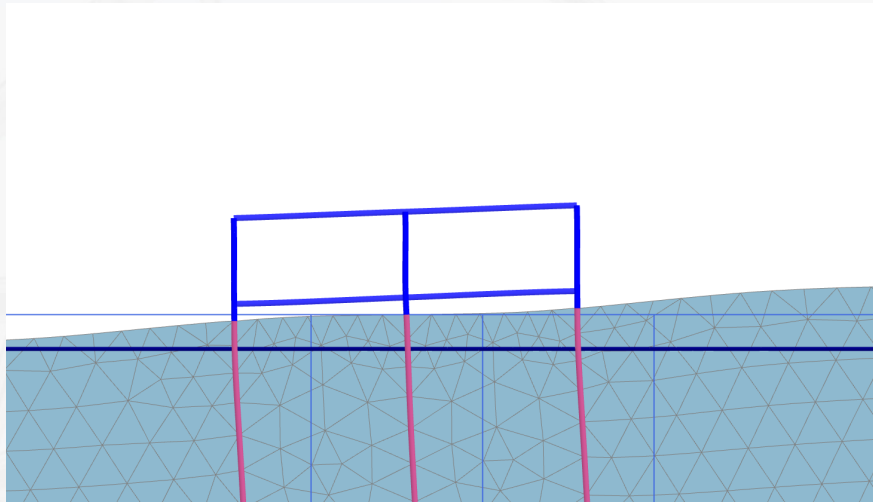
Dyn. vrije trilling



Dyn. berekening aardbeving op MV



Horizontaal Verend Ondersteunde Constructie



Fundering met palen

Bepaling 1^e eigenfrequentie

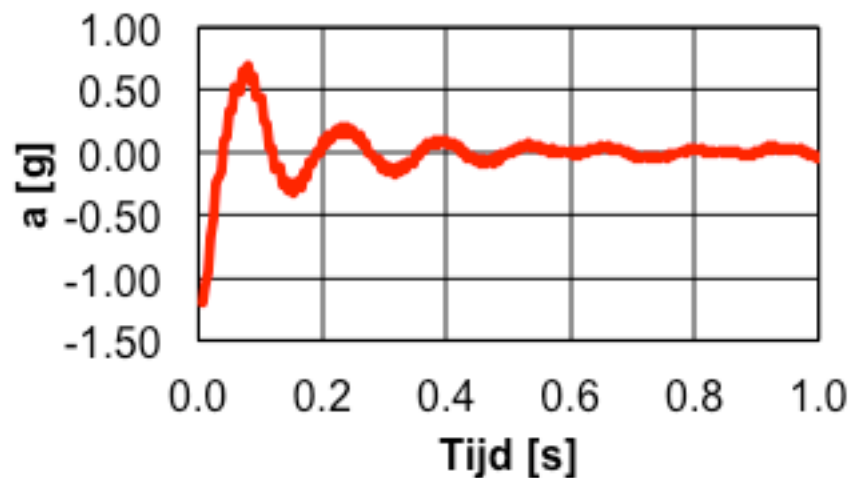
Opgelegde verplaatsing vloer +1

Dyn. vrije trilling: $f_0 = 7,0$ Hz, $T_0 = 0,14$ s

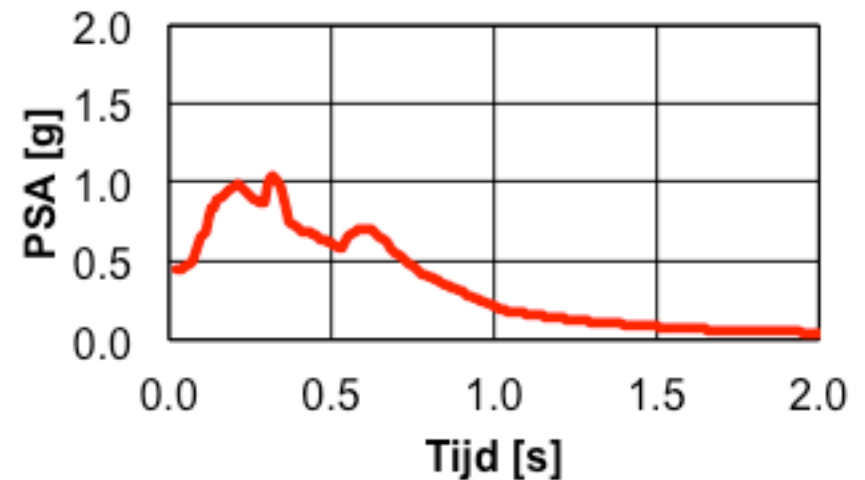
Respons spectrum aardbeving aan MV
 $a = 0,44$ g: PSA = 0,83 g

Belasting op paalfundering bepalen

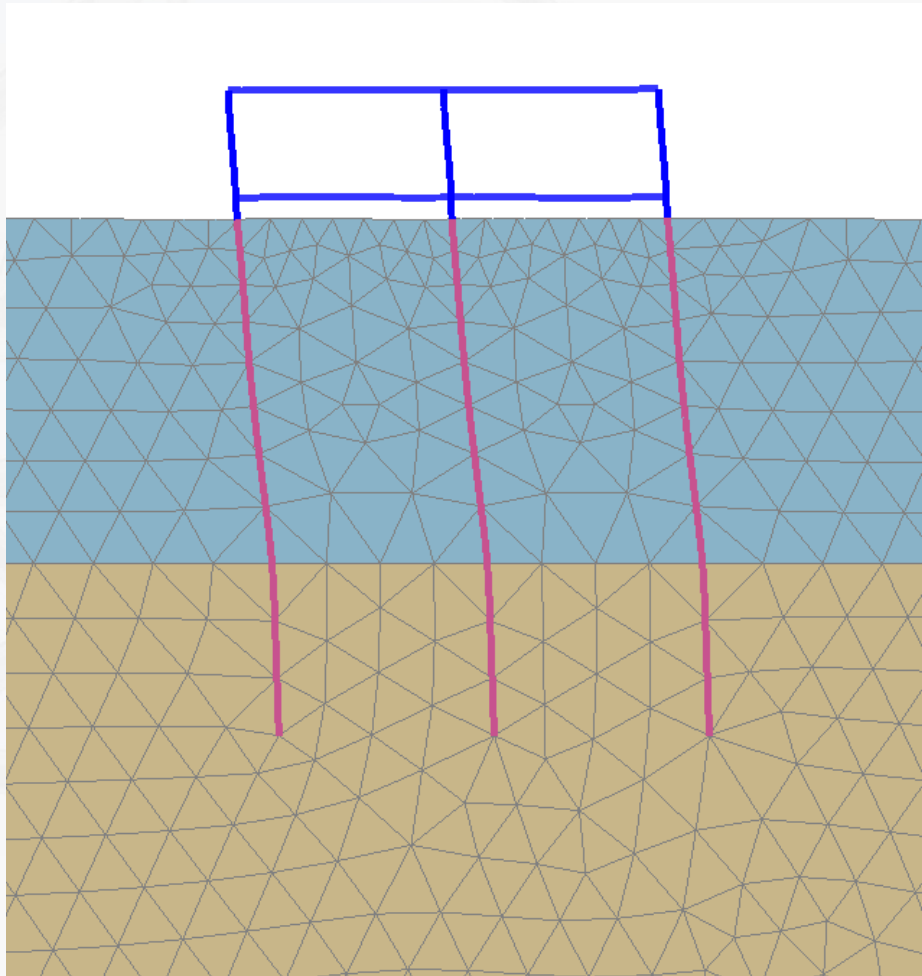
Dyn. vrije trilling



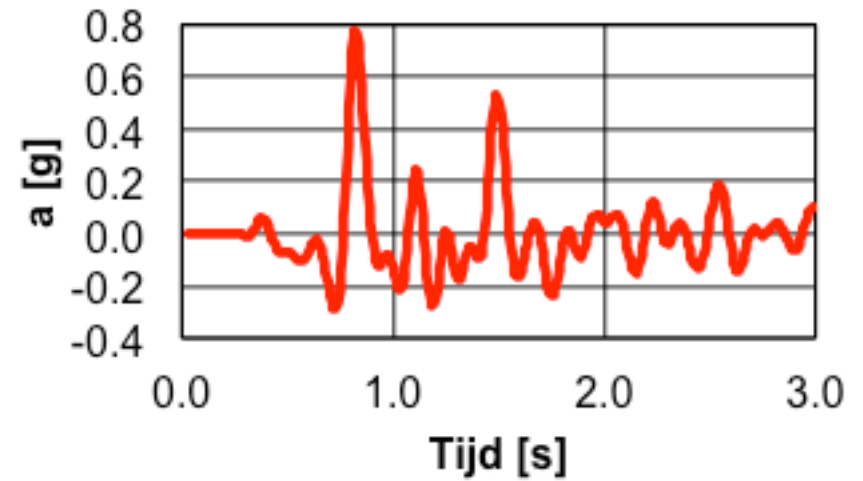
Response Spectrum (5 %)



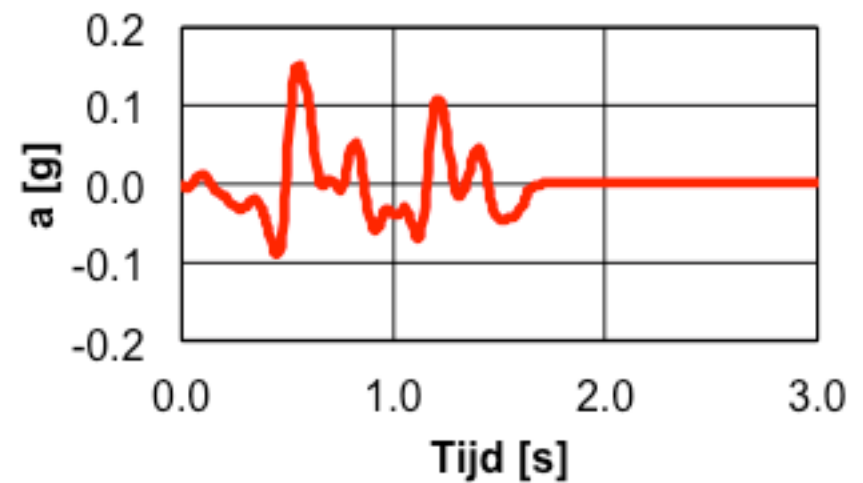
Volledige grond-constructie-interactie



Response vloer +1 (0,78 g)



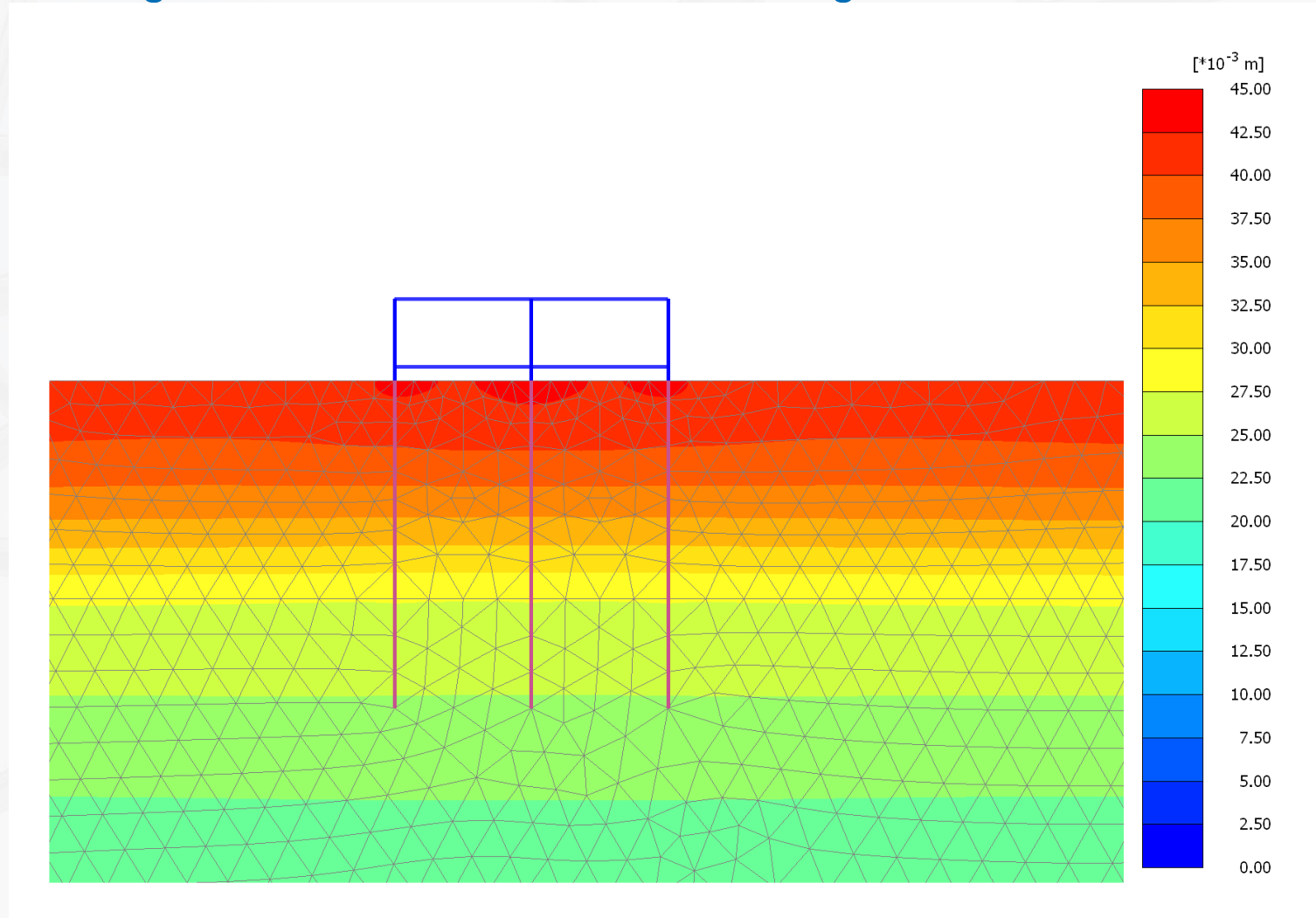
Incident Wave (0,15 g)



Volledige grond-constructie-interactie

Horizontale vervorming (Schaal van 0 tot 45 mm)

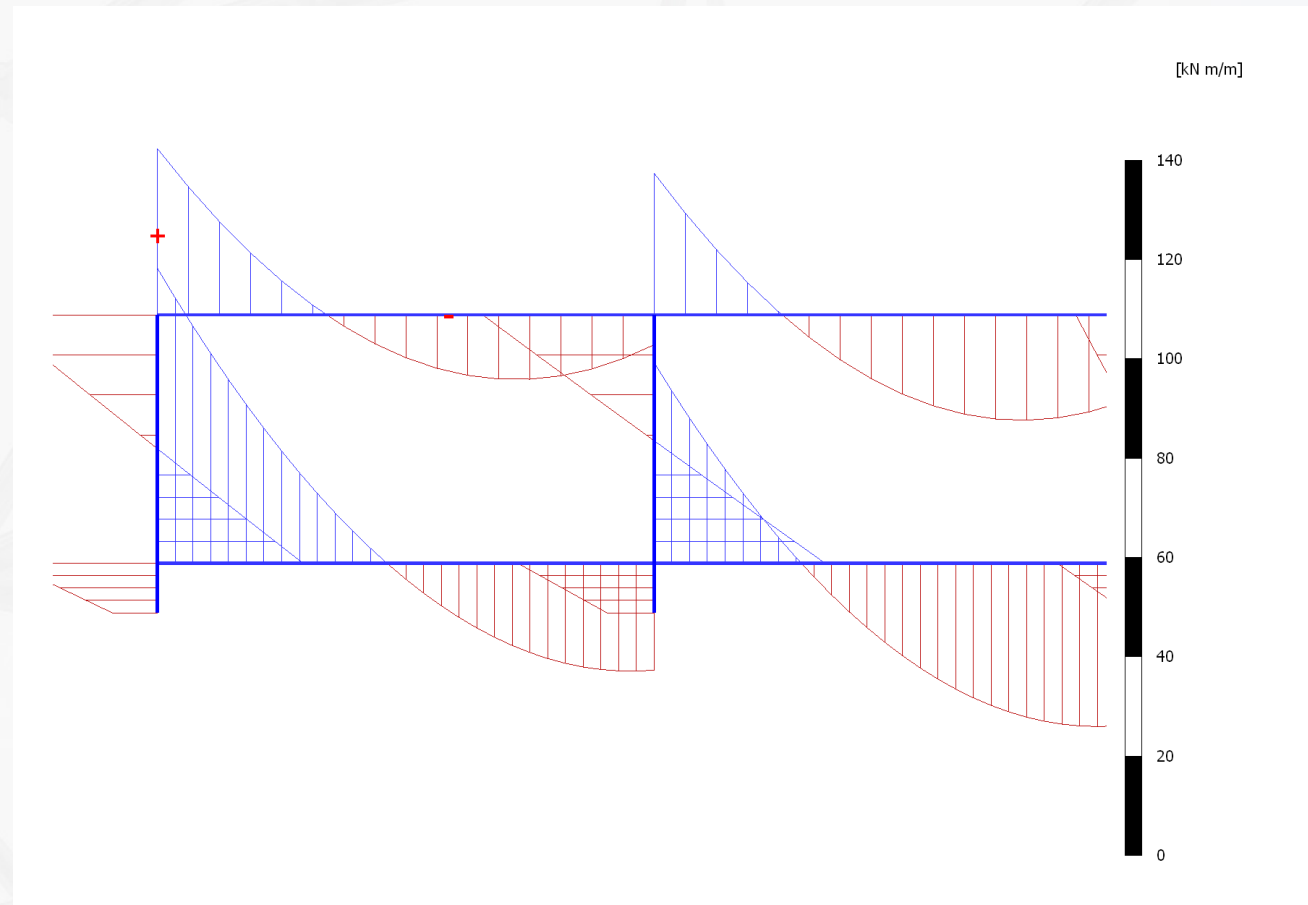
Weinig verschil zonder en met fundering!



Volledige grond-constructie-interactie

Buigend moment in constructie

- Minimum 35 kNm/m¹
- Maximum 59 kNm/m¹



Volledige grond-constructie-interactie

Maximale verplaatsing paalkop is 44 mm

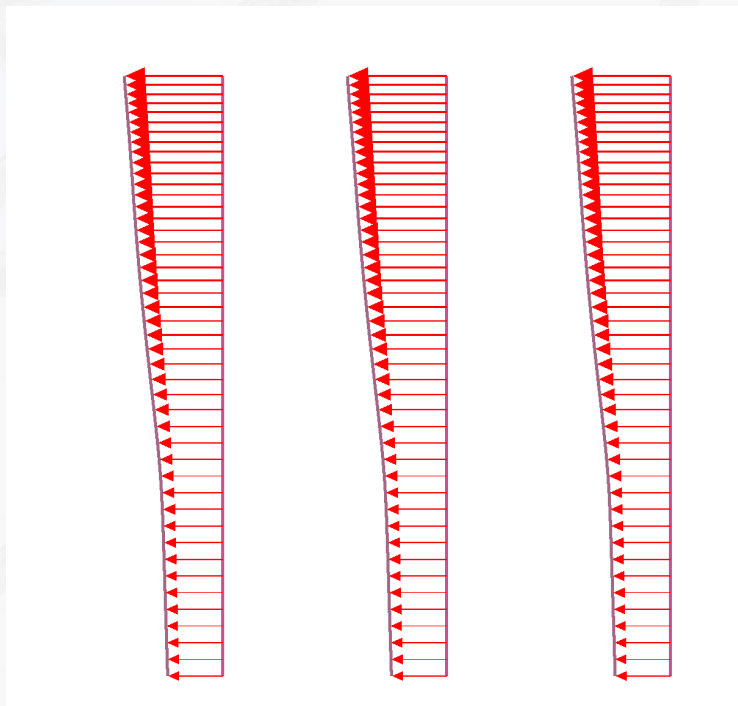
Buigend moment in palen

- Inklemningsmoment $9,6 \text{ kNm/m}^1 = 48 \text{ kNm/paal}$

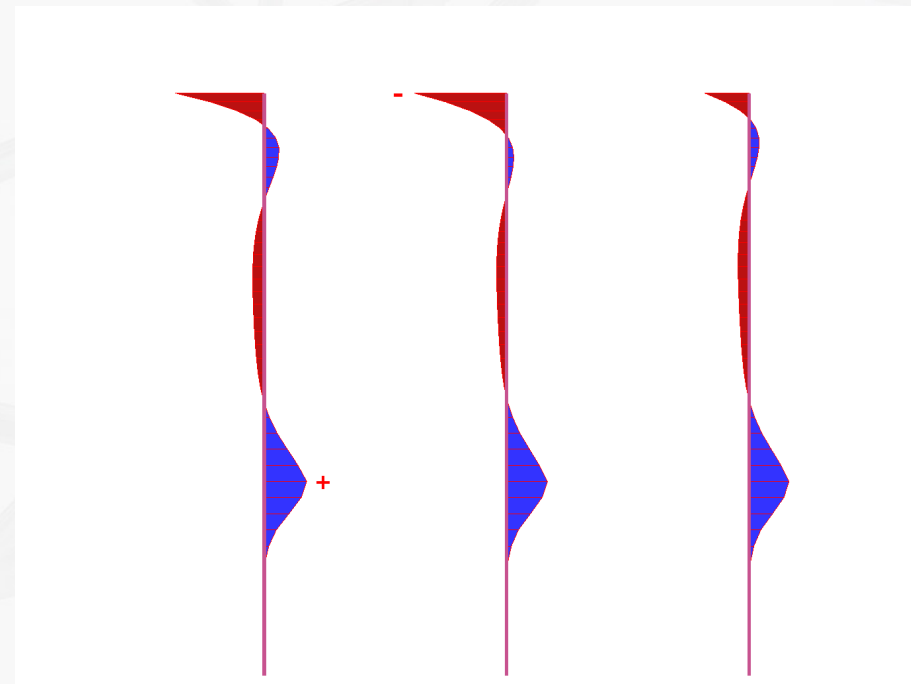
- Veldmoment op -8 m (overgang zand-klei) $4,4 \text{ kNm/m}^1 = 22 \text{ kNm/paal}$

Kinematische interactie!!!

Horizontale verplaatsing



Buigend moment



Voorbeeld: Resultaten 3 Benaderingen

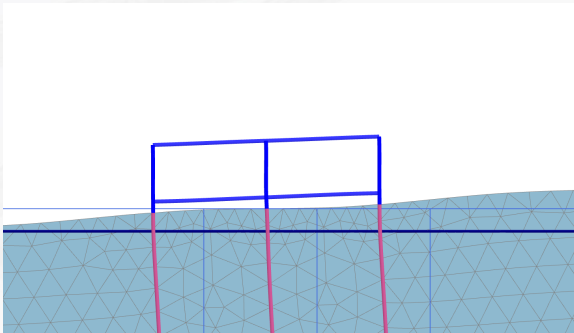


1 - Ingekleemde fundering

PSA = 0,69 g

$f_0 = 9,0 \text{ Hz}$, $T_0 = 0,11 \text{ s}$

Overschatting eigenfrequentie

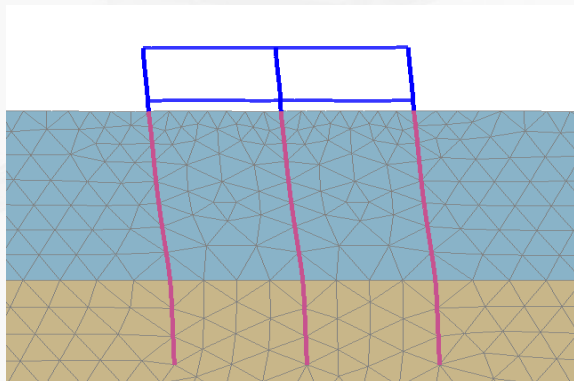


2 - Horizontaal verend ondersteunde constructie

PSA = 0,83 g

$f_0 = 7,0 \text{ Hz}$, $T_0 = 0,14 \text{ s}$

Onderschatting eigenfrequentie



3 - Volledige dynamische berekening van constructie en fundering

PSA = 0,78 g

Inklemmingsmoment palen bepaald

Veldmoment palen op overgang klei - zand

Grond-constructie-interactie

Fundering star - volledige inklemming

Eigenfrequentie constructie wordt overschat

- Stijve constructie – onderschatting respons
- Slappe constructie – overschatting respons

Bepaling interactie met paalfundering

Bepaal maximale horizontale reactiekracht

Zet deze op paalfundering bij gegeven inklemmingsconditie

Bepaal apart kinematische interactie grond – paal m.b.v. Site Response analyse

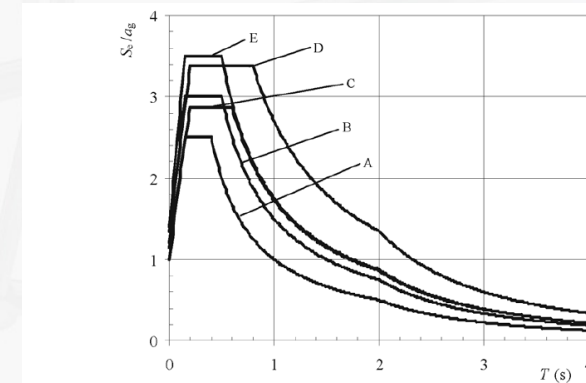


Figure 3.2: Recommended Type 1 elastic response spectra for ground types A to E (5% damping)

Grond-constructie-interactie

Horizontaal verend ondersteunde constructie

Bepaling horizontale veerstijfheid paalfundering vereist

- Afhankelijk van verplaatsingsamplitude

Eigenfrequentie constructie wordt enigszins onderschat

Bepaal maximale horizontale reactiekracht

Zet deze op paalfundering bij gegeven inklemmingsconditie

Bepaal apart kinematische interactie grond – paal m.b.v. Site Response analyse

Conclusie

Volledige dynamische berekening van constructie en fundering geeft reëel beeld krachtswerking

Kinematische interactie – niet verwaarloosbaar bij paalfunderingen

Alleen te bepalen met Site Response Analyse voor het bepalen van horizontale grondvervormingsprofiel of volledig dynamische berekening constructie, fundering en grond

Modellering grondgedrag met niet-lineair elastische grondmodellen

Mogelijk slapper gedrag fundering i.v.m. lokaal bezwijken

Betere beschrijving kinematische interactie

Volledige interactiebeschouwing noodzakelijk bij:

Niet-horizontaal maaiveld: kelder, talud, dijk, grondkering en landhoofdconstructie