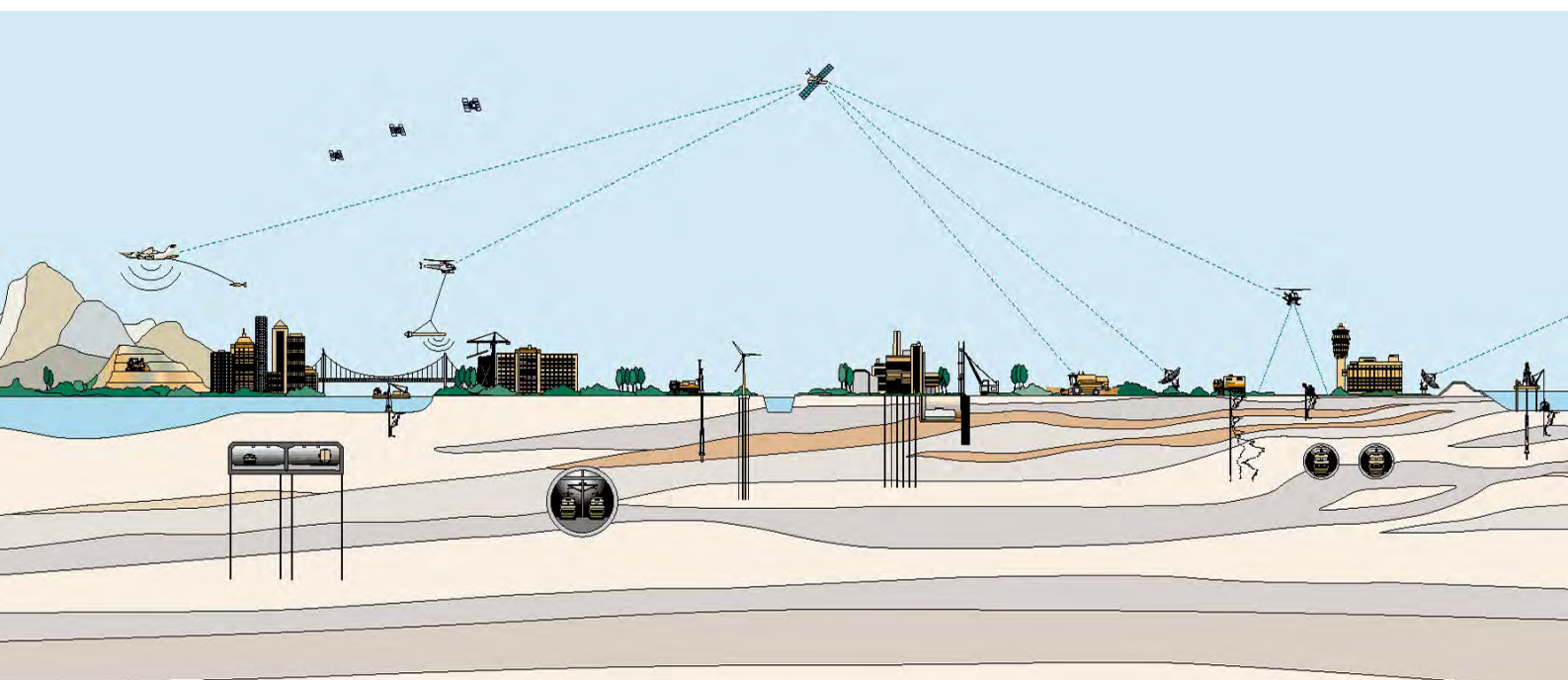


RAPPORT
betreffende

**HINDERBELEVING
METROPASSAGE
NIEUWBOUW EEKHOLT 4
TE DIEMEN**

Opdrachtnummer: 1015-0192-000



RAPPORT
betreffende

**HINDERBELEVING
METROPASSAGE
NIEUWBOUW EEKHOLT 4
TE DIEMEN**

Opdrachtnummer: 1015-0192-000

Opdrachtgever : Holland Park BV
T.a.v. de heer R.A.G. Deckers
Postbus 95241
1090 HE Amsterdam

Datum metingen : 8 en 11 mei 2015

Projectleider : ir A.J. Snethlage
Senior Adviseur Geotechniek

Opgesteld door : ir A.J. Snethlage
Senior Adviseur Geotechniek

Gecontroleerd door : Ing. P.A.J. Kivit
Adviseur Geotechniek

VERSIE	DATUM	OMSCHRIJVING WIJZIGING	PARAAF PROJECTLEIDER
1	26 mei 2015	eerste versie	
2			
3			

FILE: 1015-0192-000_31.R01V011.docx

<u>INHOUDSOPGAVE</u>	<u>Blz.</u>
1. INLEIDING	1
2. PROJECTBESCHRIJVING	2
2.1. projectlocatie	2
2.2. Toetsing op schade en hinderbeleving	3
2.3. Meetuitvoering en meetlocatie	4
2.4. Grenswaarde	5
2.5. Toetsingsprocedure	7
2.6. Soorten trillingschades	8
3. MEETRESULTATEN EN TOETSING	9
3.1. Meetresultaten raai 1 (Blok 1, Toren 1 en Blok 2)	9
3.2. Meetresultaten raai 2 (Toren 2 en Blok 3)	10
3.3. Toetsing op schade raai 1 (Blok 1, Toren 1 en Blok 2)	12
3.4. Toetsing op schade raai 2 (Toren 2 en Blok 3)	13
3.5. Toetsing op hinderbeleving raai 1 (Blok 1, Toren 1 en Blok 2)	14
3.6. Toetsing op hinderbeleving raai 2 (Toren 2 en Blok 3)	15
4. ANALYSES TRILLINGSOVERDRACHT	16
4.1. Mechanisme trillingen	16
4.2. 1 ^e analyses meetdata	19
4.3. Modelering	21
4.4. Postdictie trillingsmeetdata	22
4.5. Trillingsreducerende maatregelen	24
5. CONCLUSIES	28
<u>BIJLAGEN</u>	<u>Nr.</u>
- Situatie met meetpunten (metrolijn en toekomstige bebouwing)	1
- Logboek meting d.d. 8 en 11 mei 2015	2
- "Legenda Terreinproeven en Grondsoorten"	
- "Continu Elektrisch Sonderen"	
- Sondeergrafieken	1015-0192-000-DKMC1 en -DKMC2
- Beoordeling van trillingen	
- Toelichting Modellerings Trillingen	

1. INLEIDING

Opdrachtverstrekking

Op 1 mei 2015 ontving Fugro GeoServices B.V. te Leidschendam van Holland Park B.V. te Diemen de opdracht voor het uitvoeren van bemande trillingsmetingen tijdens passage van treinverkeer (NS treinen / metro voertuigen) aan de Eekholt 4 te Diemen.

Door passage van treinen en metro's ontstaan trillingen in de ondergrond. De trillingen worden via de ondergrond overgedragen op de draagconstructie van geplande nieuwbouw (appartementen complex). De trillingen leveren een risico op schade aan de woningen (SBR-A richtlijn) dan wel hinderbeleving voor bewoners in de woningen (SBR-B richtlijn).

Met een bemande trillingsmeting uitgevoerd op 8 en 11 mei 2015 zijn de momenteel optredende trillingsintensiteiten inzichtelijk gemaakt. In verband met de complexiteit van de installatiewerkzaamheden (oriëntatie xyz en diepteniveau) van de vibroconussen (4 stuks) op vrijdag 8 mei, is de bemande meting op deze dag in beperkte vorm uitgevoerd. Tijdens de bemande meting op maandag, 11 mei zijn geen bijzonderheden opgetreden.

Doelstelling

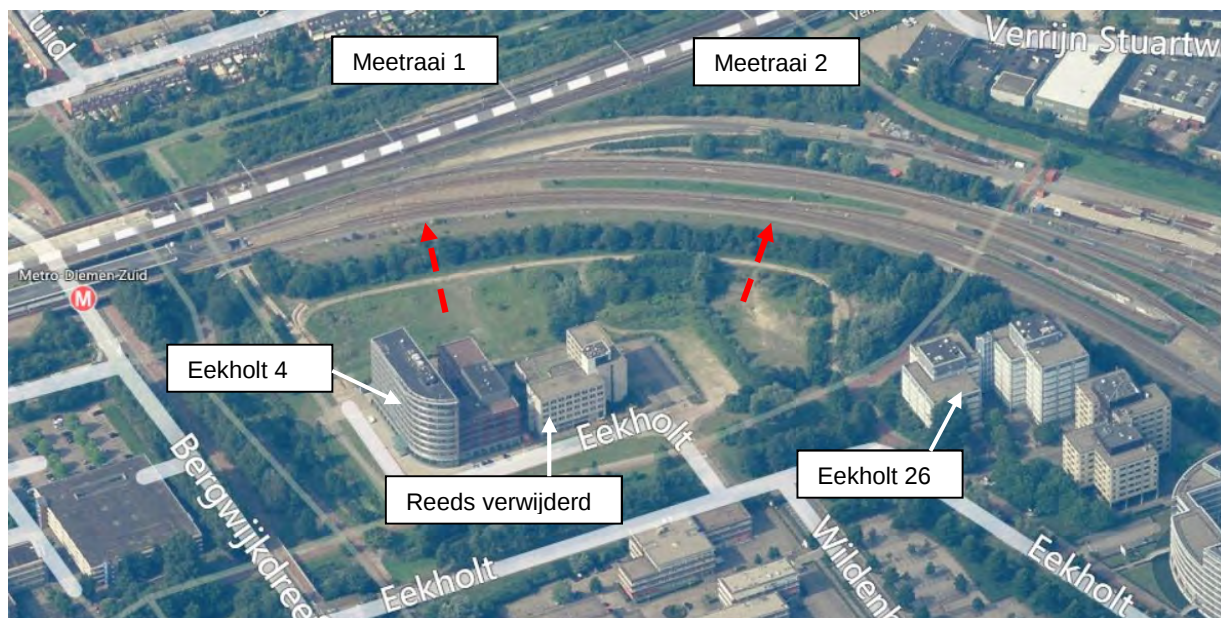
Het doel van de trillingsmetingen is inzicht verkrijgen in de trillingsniveaus ter plaatse van de geplande nieuwbouw. Een en ander op basis van vooraf gestelde grenswaarden conform SBR richtlijn A "*Schade aan gebouwen*". Op het moment dat er een risico is, zijn trillingsreducerende maatregelen beschouwd

In dit rapport wordt ingegaan op de trillingsmeetresultaten en de beoordeling / toetsing ervan. Daarnaast is de data geanalyseerd, waarbij een postdictie is uitgevoerd en zijn de bevindingen (incl. trillingsreducerende maatregelen) ervan opgenomen. Het rapport bevat achtergrondgegevens voor beoordeling van trillingen, een korte projectbeschrijving, de meetresultaten, de toetsing van de meetresultaten en een samenvatting.

2. PROJECTBESCHRIJVING

2.1. projectlocatie

De projectlocatie is gelegen aan de Eekholt te Diemen. In figuur 2-1 t/m figuur 2- is de huidige situatie met omliggende bebouwing opgenomen.



Figuur 2-1: Bouwlocatie met omliggende bebouwing, (bron: Bing Maps)

Het plan (figuur 2-2) betreft de nieuwbouw van diverse appartementen complexen rondom de Eekholt. Daarbij zijn Blok 1, Toren 1 en Blok 2 Toren 2 en Blok 3 gepland direct naast het talud van de metrolijn.



Figuur 2-2: Situatietekening nieuwbouw

Voorafgaande aan de werkzaamheden is op donderdag 7 mei 2015 door Fugro een locatiebezoek ter voorbereiding van de veldwerkzaamheden uitgevoerd. In onderstaande figuren is een impressie van de bouwlocatie weergegeven.



Figuur 2-3: Meetlocatie, links bestaande pand a.d. Eekholt 4



Figuur 2-4: Meetlocatie, rechts bestaande pand a.d. Eekholt 26



Figuur 2-5: Meetlocatie, voorafgaand aan de werkzaamheden incl. omliggende bebouwing

Voor het beoordelen op schade aan gebouwen, SBR richtlijn A, is een indeling van de bestaande constructies noodzakelijk. Welke veelal bepaald wordt d.m.v. een locatiebezoek. Aangezien het in dit geval om toekomstige gebouwen gaat is uitgegaan van een bebouw met een metselwerk gevel, in redelijk goede staat, en derhalve ingedeeld in **categorie 2**.

Met een postdictie is de invloedszone van de trillingen bepaald. De meetdata is versus de afstand uitgezet, waarna prognoselijnen zijn toegevoegd. De prognose methodiek zoals deze opgenomen is in het handboek CUR 166 Damwandconstructies is gehanteerd. Er is sprake van fitten van data.

Naar aanleiding van de analyses is een invulling van een mogelijk trillingscherm opgenomen.

2.2. Toetsing op schade en hinderbeleving

Conform SBR A dienen de meetresultaten aan de draagconstructie getoetst te worden op schade. Aangezien de metingen niet aan de draagconstructie gedaan zijn (nieuwbouw staat er immers nog niet), is aangenomen als zijnde een meting aan de draagconstructie. In de navolgende grafieken is de toetsing grafisch uitgevoerd. Gezien de extreem lage trillingsintensiteiten in de 1^e en 2^e zandlaag (trilmeetconussen) is hiervan de toetsing op schade niet opgenomen.

Conform SBR B dienen de meetresultaten van vloermeetpunten getoetst te worden op hinderbeleving. Ook hier is de beschouwing gedaan als zijnde meetresultaten op vloeren ondanks dat op maaiveld gemeten is.

2.3. Meetuitvoering en meetlocatie

Meetuitvoering trillingsmetingen

De trillingsmetingen zijn uitgevoerd met een volgens SBR richtlijnen ontworpen meetsysteem. Aan het meetsysteem is een 3D sensor (x, y en z-richting) aangesloten die de trillingen meet. De X-richting is gericht richting trillingsbron. De signaalverwerking en dataopslag worden automatisch uitgevoerd. Per tijdsinterval worden de hoogste trillingssnelheid en de bijbehorende frequentie opgeslagen.

In figuur 2-6 is het meetsysteem met een opnamer en de meetlocaties weergegeven.



Figuur 2-6: Meetsysteem Vibra+ met opnamer

De verwerkingsunit slaat van de sensor afkomstige meetsignalen automatisch op. Per gekozen tijdsinterval worden de hoogst gemeten trillingssnelheid met bijbehorende frequentie opgeslagen. Tijdens de werkzaamheden is een tijdsinterval van 2 seconden gehanteerd. Er is geen drempelwaarde aangehouden hetgeen inhoudt dat alle meetwaarden worden opgeslagen (niet alleen waarden boven deze drempelwaarde).

De meetsystemen zijn zodanig geprogrammeerd dat gedurende 24 uur, alle meetdagen, alle resultaten worden opgeslagen.

Meetopstelling

In twee meetraaien, raai 1 en raai 2 zijn op verschillende afstanden (en diepten) trillingsmetingen uitgevoerd. Elke raai bestaat uit 3 meetpunten op maaiveldniveau (Tx.x) en 2 vibroconussen (Cx.x) voor metingen op diepte. De onderlinge afstand tussen de meetpunten op maaiveld bedraagt ca. 5 m. Waarbij beide trilmeetconussen ter plaatse van het 3^e meetpunt op maaiveld geplaatst zijn. In **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** en **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** zijn meetraai 1 en 2 weergegeven. In bijlage A is een plattegrond van de meetlocatie met afstanden tot toekomstige bebouwing en metrolijn weergegeven.



Figuur 2-2: Meetraai 1, met achterliggende passage van metro



Figuur 2-3: Meetraai 2

De onderlinge afstanden van de meetpunten en tot toekomstige belending en metrolijn is in tabel 2-1 weergegeven.

Tabel 2-1: Karakteristieke belendingen

Meetraai	Meetpunt	Omschrijving locatie	Afstand tot metro [m]	Meetsysteem
1	T1.3	Op maaiveld	21,5	VIB077
	T1.2	Op maaiveld	26,6	VIB081
	T1.1	Op maaiveld	31,5	VIB062
	C1.1	MV -20,0 m	31,5	VIB066
	C1.2	MV -9,4 m	31,5	VIB065
	-	Belending	33,3	-
2	T2.3	Op maaiveld	13,0	VIB073
	T2.2	Op maaiveld	18,0	VIB091
	T2.1	Op maaiveld	23,0	VIB067
	C2.1	MV -20,5 m	23,0	VIB058
	C2.2	MV -10,0 m	23,0	VIB072
	-	Belending	25,8	-

Om de invloed vanuit de diepere zandlagen te kunnen analyseren zijn zowel tot in de 1^e als tot in de 2^e zandlaag een trillingsmeter (vibroconus) geplaatst. Om de diepte ervan te kunnen bepalen, zijn de meetlocaties voor gesondeerd, waarna de vibroconus in hetzelfde gat op diepte is geplaatst. De grafische weergave van de sonderingen is in de bijlage opgenomen.

2.4. Grenswaarde

De grenswaarde is afhankelijk van gebouwcategorie, aard van de trillingsbron en dominante frequentie van de trilling.

Gebouwcategorie

Aangenomen is dat de toekomstige bebouwing is opgetrokken uit metselwerk en is in redelijk goede staat, derhalve zijn de belendingen ingedeeld in categorie 2.

Aard van de trillingsbron

Het karakteristieke trillingsbeeld van een metropassage wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurende trillingen veroorzaakt bij een stootvormige excitatie,

waarbij vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. In dit geval is de partiële veiligheidsfactor γ_t van 1.5. De dominante frequentie bedraagt doorgaans 10 tot 15 Hz.

Trillingsgevoelige fundering

Voor de belendingen is geen grenswaarde voor trillingsgevoelige funderingen van toepassing. Dit omdat de bebouwing op palen wordt gefundeerd.

Grenswaarde

Voor de meetlocaties zijn de grenswaarde conform de SBR-A richtlijn voor gebouwcategorie 2 aangehouden. Voor de bepaling van de rekenwaarde van de grenswaarde is de dominante frequentie van de trilling een maatgevende factor. De rekenwaarden van de grenswaarden zijn opgenomen in tabel 2-2. De waarden gelden voor een "indicatieve meting".

Tabel 2-2: Grenswaarden ("indicatieve meting") [mm/s] conform SBR - richtlijn A 'Schade aan gebouwen'

Dominante frequentie [Hz]	Karakteristieke waarden Cat. 2 [mm/s]	Partiële veiligheidsfactor		Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid ¹⁾	
		Heien [-]	Fundering [-]	Cat. 2 [mm/s]	Fundering [mm/s]
10	5,0	1,5	1,0	2,1	15,9
15	6,3	1,5	1,0	2,6	10,6
20	7,5	1,5	1,0	3,1	8,0
25	8,8	1,5	1,0	3,6	6,4

1) incl. factor voor "soort meting"

Partiële factor "soort meting"

SBR Richtlijn A maakt onderscheid tussen een indicatieve, een beperkte en een uitgebreide meting. De vet gemarkeerde waarden zijn geldig voor de trillingsmetingen, de meetwaarde dient vermenigvuldigd te worden met een partiële veiligheidsfactor, die is opgenomen in tabel 2-3.

Tabel 2-3: Partiële veiligheidsfactor voor soort meting

Soort meting	factor	Omschrijving meting
Indicatief	1,6	1 meetpunt (x, y, z) aan draagconstructie
Beperkt	1,4	2 meetpunten (x,y,z en x, y) aan draagconstructie en circa 10 m boven mp aan draagconstructie
Uitgebreid	1,0	Meerdere meetpunten in stijve punten van constructie

De grootte van de factor voor de soort meting is afhankelijk van het aantal (en locatie) meetpunten per object. Omdat er sprake is van een enkel meetpunt per gebouw, wordt de meting als "indicatief" beschouwd, waardoor de partiële veiligheidsfactor 1.6 bedraagt (de factor wordt vermenigvuldigd met de meetwaarden).

Conform de SBR richtlijn dient de meetwaarde vermenigvuldigd te worden met partiële veiligheidsfactor. In de praktijk wordt in de regel de partiële factor niet over de meetwaarden maar op de grenswaarde gezet, hetgeen inhoudt dat de grenswaarde gereduceerd wordt.

2.5. Toetsingsprocedure

Voor het maken van een beoordeling en toetsing van trillingsintensiteiten ten aanzien van schade en hinder conform de SBR - richtlijnen is het noodzakelijk het volgende inzicht te krijgen:

1. Voor de toetsing voor schade aan bouwwerken dient de grootste piekwaarde in de trillingsintensiteit bepaald / gemeten te worden. Bij de beoordeling van mogelijke schade door verkeer zijn derhalve de zware voertuigen en / of de voertuigen met de grootste voertuigsnelheid maatgevend. In de beoordeling van schade wordt door middel van een reductiefactor op de grenswaarde rekening gehouden met het feit, dat verkeer een vrijwel continu trillingsveroorzakend proces is. De verkeersintensiteit is derhalve geen invloedsfactor voor de toetsing voor schade. Voor de beoordeling van schade dient in principe uit te worden gegaan van de meetpunten aan de draagconstructie / gevel.
2. Voor de toetsing voor hinder voor personen in gebouwen dient enerzijds de grootste optredende effectieve waarde van de trillingssnelheid bepaald / gemeten te worden anderzijds dient de gemiddelde effectieve waarde van de trillingssnelheid bepaald / gemeten te worden. Voor de toetsing voor hinder zijn derhalve zowel de zware voertuigen en / of de voertuigen met de grootste voertuigsnelheid maatgevend, als de verkeersintensiteit van de zware voertuigen en / of de voertuigen met de grootste voertuigsnelheid. Voor de beoordeling van hinder dient in principe uit te worden gegaan van de meetpunten op de vloeren.

Toetsingprocedure schade

Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op schade aan gebouwen (of onderdelen ervan) aanvaardbaar klein indien de rekenwaarde van de grenswaarde (v_{reken}) groter is dan de topsnelheid van de meting (v_{top}) gemeten aan de gevel.

Toetsingsprocedure hinderbeleving

De procedure voor de toetsing voor overschrijding van de streefwaarden voor hinder luidt,

dat: $v_{\text{eff,max}} < A1$ (toets 1)

of, indien $v_{\text{eff,max}} > A1$, dan: $v_{\text{eff,max}} < A2$ en $v_{\text{per}} < A3$ (toets 2)

Kort toegelicht:

- **Toets 1:** De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A1. Indien deze onder de streefwaarde blijft, mag er geen hinder verwacht worden. Indien niet, dient de intensiteit van de werkzaamheden mede beschouwd te worden, volgens:
- **Toets 2:** De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A2 en de gemiddelde effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A3. Bij overschrijding van streefwaarde A2 is hinder voor personen niet uitgesloten. Indien streefwaarde A2 niet overschreden wordt, bepaalt de intensiteit van het werk (toetsing streefwaarde A3) of sprake is van overschrijding van streefwaarde A3 en daarmee mogelijke hinder voor personen. Als aan zowel streefwaarde A2 als aan streefwaarde A3 wordt voldaan, mag er geen hinder verwacht worden.

2.6. Soorten trillingschades

In de SBR richtlijn A "*Schade aan gebouwen*" bestaat de toetsing uit de vergelijking van de rekenwaarde van de gemeten topsnelheid met de rekenwaarde van de grenssnelheid. In de richtlijn wordt gesteld dat de kans op schade minder dan 1% is wanneer de rekenwaarde van de gemeten topsnelheid kleiner is dan de rekenwaarde van de grenssnelheid.

Wanneer er overschrijdingen van de grenswaarden zijn geconstateerd behoeft dit nog niet direct tot constructieve schade te leiden. Van belang zijn de tijdsduur waarover de overschrijdingen optreden en de grootte van de overschrijding.

Cosmetische schade

Bij kortdurende of relatief lage overschrijdingen spreekt men eerder van cosmetische dan van constructieve schade. Onder cosmetische schade wordt verstaan:

- Haarscheurtjes in pleisterwerk, tegelwerk, metselwerk e.d.
- Naadvorming langs kozijnen, plafonds e.d.

Constructieve schade

Bij langdurige of relatief grote overschrijdingen zal eerder constructieve schade aan de draagconstructie ontstaan. Onder constructieve schade wordt verstaan:

- Grote scheuren in pleisterwerk, tegelwerk, metselwerk e.d.
- Scheuren in beton-/metselwerk
- Slecht sluitende deuren
- Verzakking van de constructie
- Scheuren in draagconstructie

Uiteindelijk kunnen de trillingen het falen van de constructie veroorzaken.

Voelbaarheid en acceptatie trillingen

Voor de afweging van de toelaatbaarheid van de trillingssterkte gedurende langere periode, stelt SBR B dat aanvullend gebruik gemaakt kan worden van de navolgende kwalificatie van de hinder zoals aangegeven in tabel 2-4.

Tabel 2-4: Hinderkwalificatie

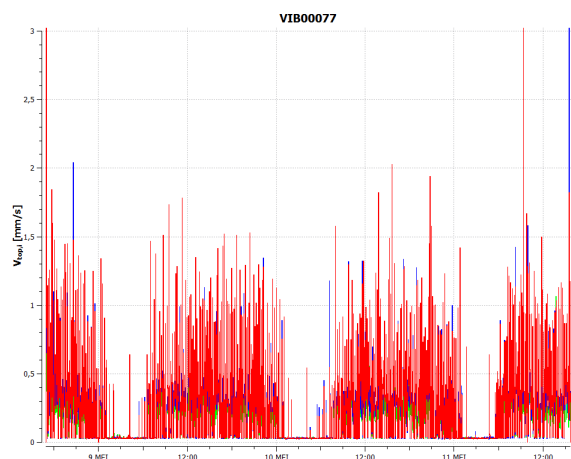
$V_{\text{eff,max}}$	Hinderkwalificatie
< 0,1	Geen hinder
0,1-0,2	Weinig hinder
0,2-0,8	Matige hinder
0,8-3,2	Hinder
>3,2	Ernstige hinder

3. MEETRESULTATEN EN TOETSING

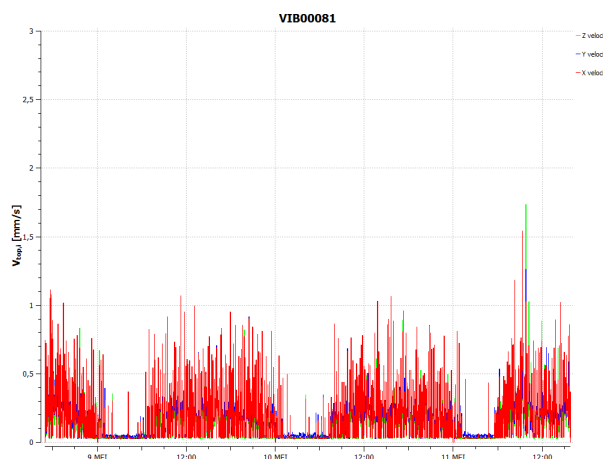
De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. Tijdens de metingen hebben zich geen bijzonderheden voorgedaan, die op de metingen een verstorend effect zouden kunnen hebben.

3.1. Meetresultaten raai 1 (Blok 1, Toren 1 en Blok 2)

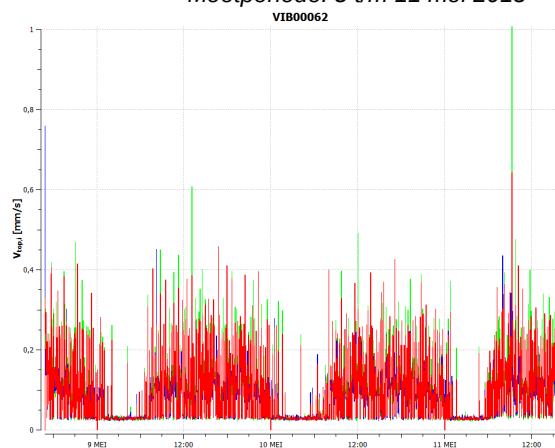
De meetresultaten zijn grafisch weergegeven in figuur 3-1 t/m figuur 3-105.



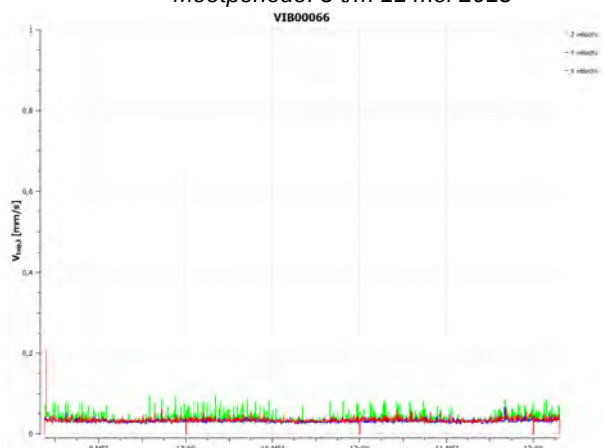
Figuur 3-1: T1.3, VIB077, op maaiveld
snelheid vs. tijd
Meetperiode: 8 t/m 11 mei 2015



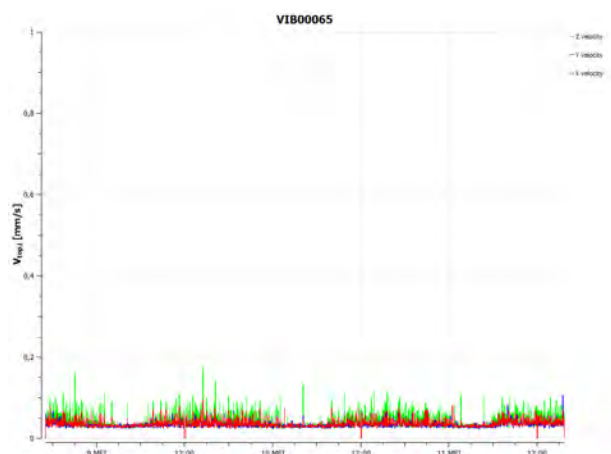
Figuur 3-2: T1.2, VIB081, op maaiveld
snelheid vs. tijd
Meetperiode: 8 t/m 11 mei 2015



Figuur 3-3: T1.1, VIB062, op maaiveld
snelheid vs. tijd
Meetperiode: 8 t/m 11 mei 2015



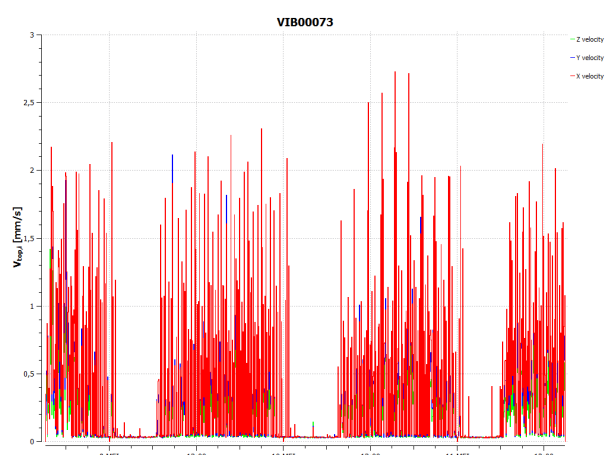
Figuur 3-4: C1.1, VIB066, op diepte (MV-20,0m)
snelheid vs. tijd
Meetperiode: 8 t/m 11 mei 2015



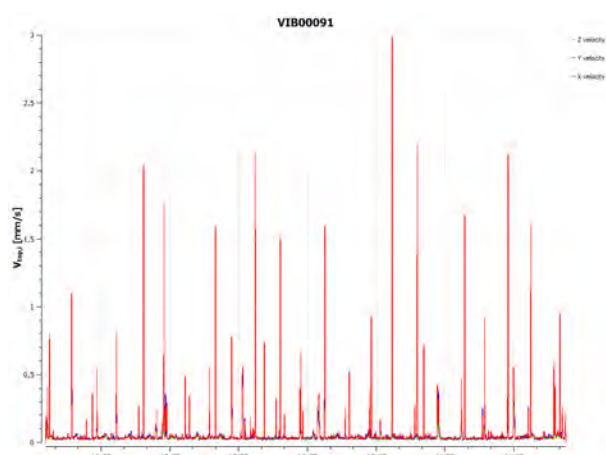
Figuur 3-5: C1.2, VIB065, op diepte (MV-9,4m)
snelheid vs. tijd
Meetperiode: 8 t/m 11 mei 2015

3.2. Meetresultaten raai 2 (Toren 2 en Blok 3)

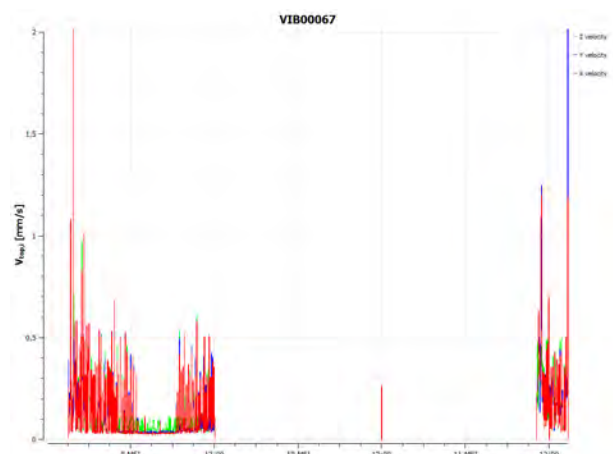
De meetresultaten zijn grafisch weergegeven in figuur 3-1 t/m figuur 3-10.



Figuur 3-6: T2.3, VIB073, op maaiveld
snelheid vs. tijd
Meetperiode: 8 t/m 11 mei 2015



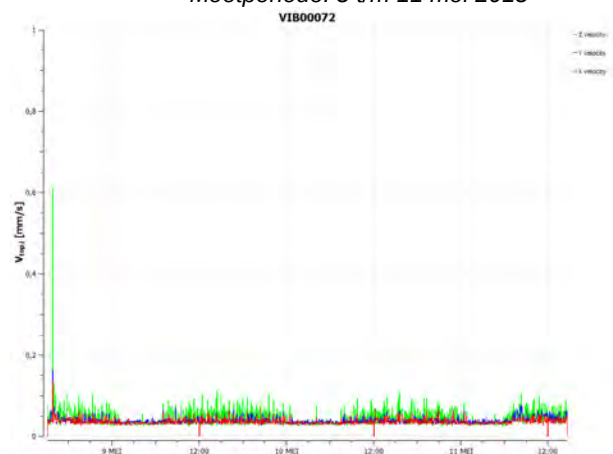
Figuur 3-7: T2.2, VIB091, op maaiveld
snelheid vs. tijd
Meetperiode: 11 mei 2015



Figuur 3-8: T2.1, VIB067, op maaiveld
snelheid vs. tijd
Meetperiode: 8 t/m 11 mei 2015

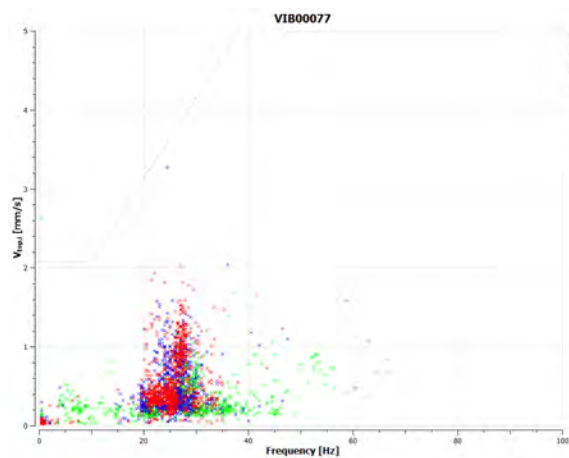


Figuur 3-9: C2.1, VIB058, op diepte (MV-20,0m)
snelheid vs. tijd
Meetperiode: 8 t/m 11 mei 2015

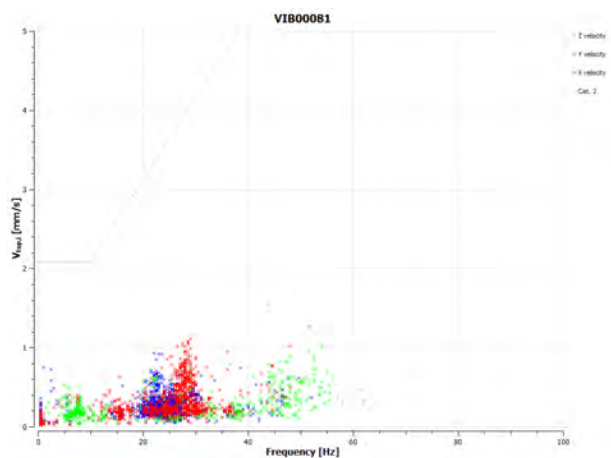


Figuur 3-10: C2.2, VIB072, op diepte (MV-10,0m)
snelheid vs. tijd
Meetperiode: 8 t/m 11 mei 2015

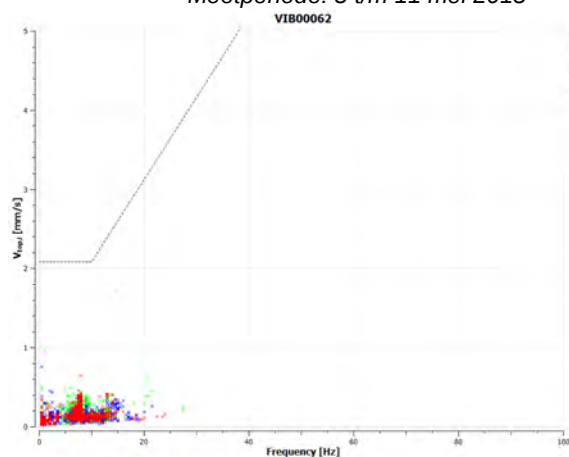
3.3. Toetsing op schade raai 1 (Blok 1, Toren 1 en Blok 2)



Figuur 3-11: T1.3, VIB077, op maaiveld
snelheid vs. tijd
Meetperiode: 8 t/m 11 mei 2015

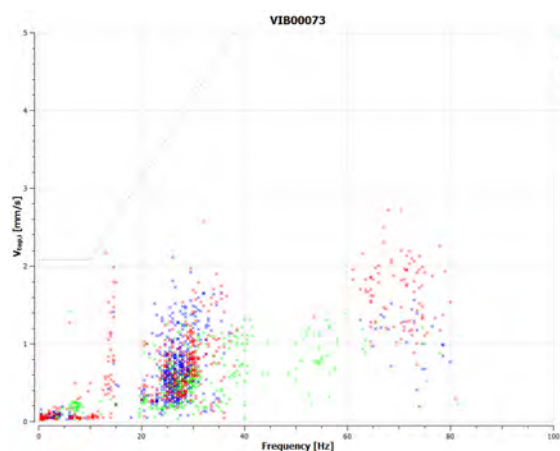


Figuur 3-12: T1.2, VIB081, op maaiveld
snelheid vs. tijd
Meetperiode: 8 t/m 11 mei 2015

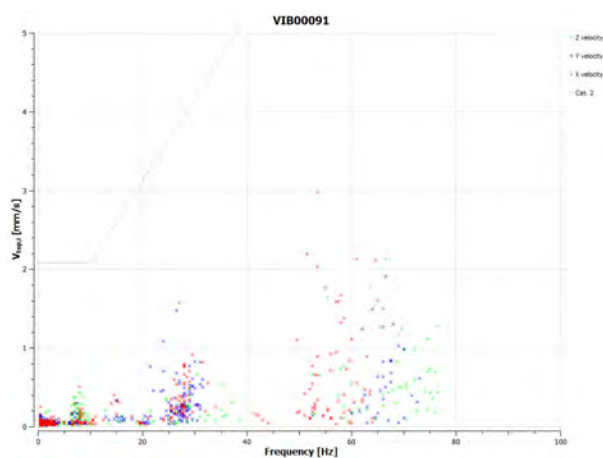


Figuur 3-13: T1.1, VIB062, op maaiveld
snelheid vs. tijd
Meetperiode: 8 t/m 11 mei 2015

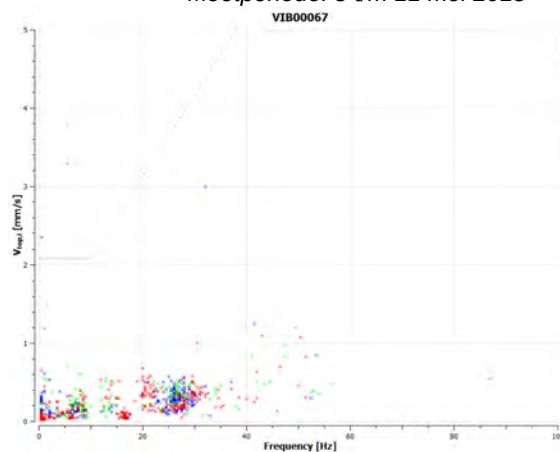
3.4. Toetsing op schade raai 2 (Toren 2 en Blok 3)



Figuur 3-14: T2.3, VIB073, op maaiveld
snelheid vs. frequentie
Meetperiode: 8 t/m 11 mei 2015

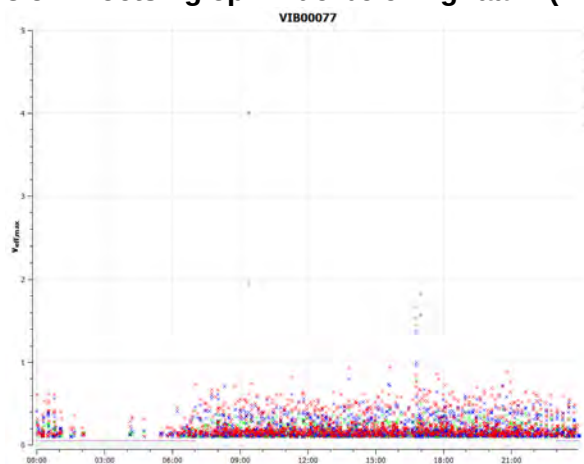


Figuur 3-15: T2.2, VIB091, op maaiveld
snelheid vs. frequentie
Meetperiode: 11 mei 2015

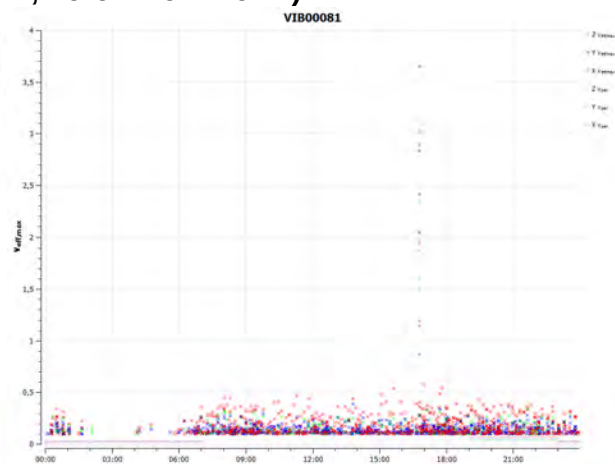


Figuur 3-16: T2.1, VIB067, op maaiveld
snelheid vs. frequentie
Meetperiode: 8 t/m 11 mei 2015

3.5. Toetsing op hinderbeleving raai 1 (Blok 1, Toren 1 en Blok 2)



Figuur 3-17: T1.3, VIB077, op maaiveld
 $V_{eff,max}$ vs. periode van de dag
Meetperiode: 8 t/m 11 mei 2015

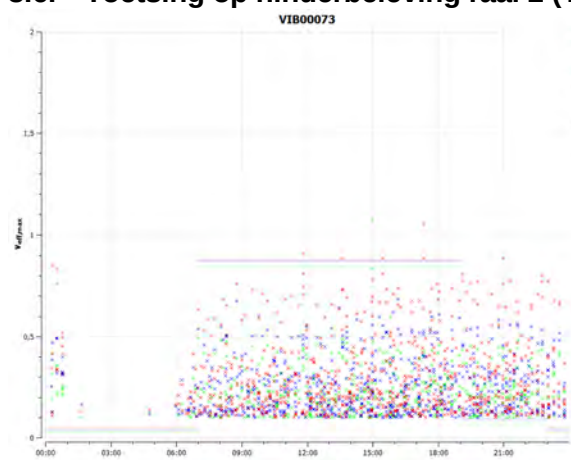


Figuur 3-18: T1.2, VIB081, op maaiveld
 $V_{eff,max}$ vs. periode van de dag
Meetperiode: 8 t/m 11 mei 2015

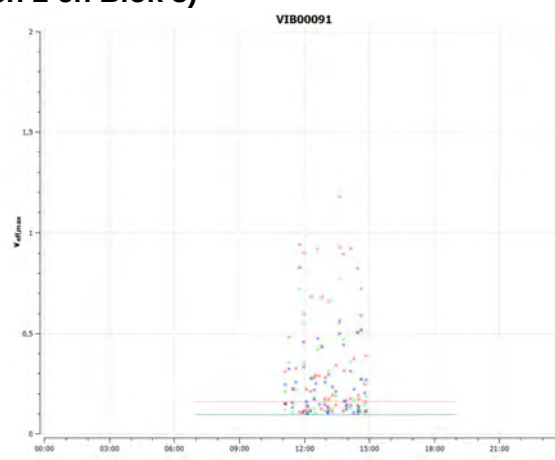


Figuur 3-19: T1.1, VIB062, op maaiveld
 $V_{eff,max}$ vs. periode van de dag
Meetperiode: 8 t/m 11 mei 2015

3.6. Toetsing op hinderbeleving raai 2 (Toren 2 en Blok 3)



Figuur 3-20: T2.3, VIB073, op maaiveld
 $V_{eff,max}$ vs. periode van de dag
Meetperiode: 8 t/m 11 mei 2015



Figuur 3-21: T2.2, VIB091, op maaiveld
 $V_{eff,max}$ vs. periode van de dag
Meetperiode: 11 mei 2015

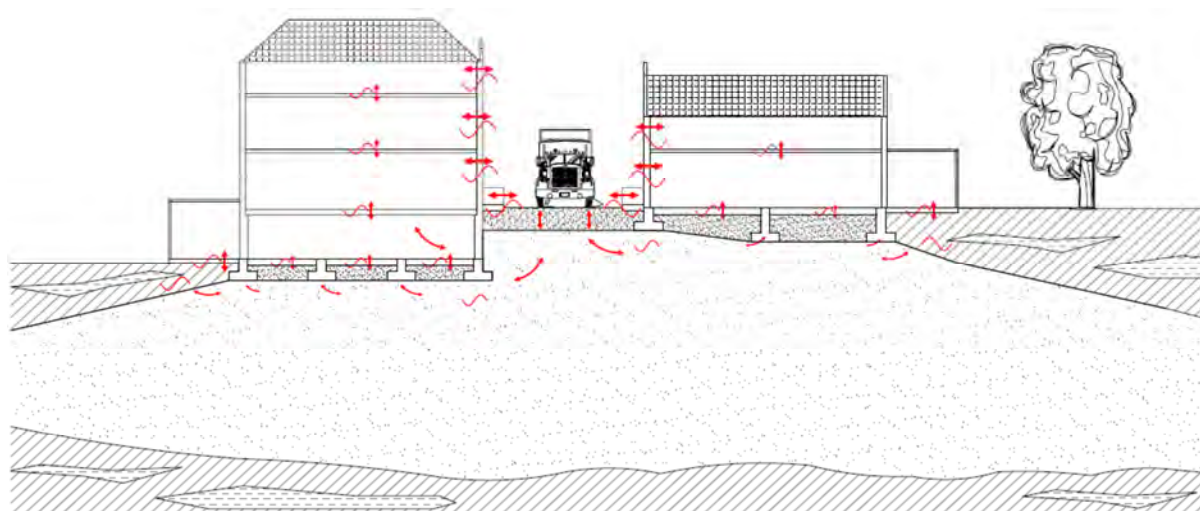


Figuur 3-22: T2.1, VIB067, op maaiveld
 $V_{eff,max}$ vs. periode van de dag
Meetperiode: 8 t/m 11 mei 2015

4. ANALYSES TRILLINGSOVERDRACHT

4.1. Mechanisme trillingen

Bij trillingen is sprake van een trillingsbron, een medium (grond) dat de trillingen doorgeeft en een ontvanger (woning). Bij de bron worden de trillingen in de grond opgewekt. De aanstoot van de woning/object is op funderingsniveau. Afhankelijk van de wijze van funderen is dit bij de palen of bij de funderingspoeren/stroken. In figuur 4.1 is (schematisch) de interactie tussen trillingsbron en ontvanger weergegeven.

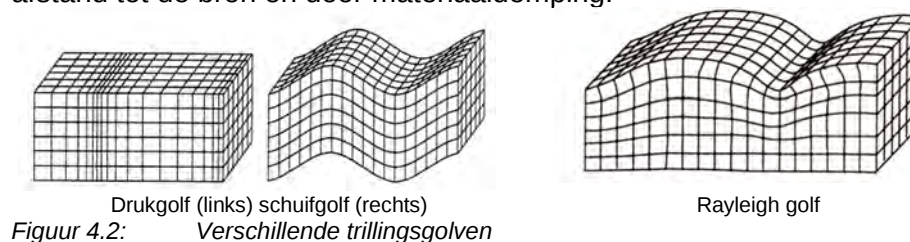


Figuur 4.1: Interactie tussen trillingsbron en ontvanger, situatie fundering op staal

Wanneer verkeer passeert over een ruw wegdek/drempel veroorzaakt deze plastische en elastische vervormingen in de wegconstructie/ondergrond. Door de snelle introductie van deze vervormingen ontstaan golfverschijnselen in de grond. De plastische golfverschijnselen blijven beperkt tot in de wegconstructie (b.v. spoorvorming).

Voor de trillingen in de omgeving zijn alleen de elastische golven van belang. Er ontstaan trillingsgolven die zich in alle richtingen (kunnen) voortplanten. Komen deze golven aan de oppervlakte, bij een laagovergang of bij een bouwwerk, dan vindt hier reflectie en omzetting van de trillingsgolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat. Gezien de complexiteit van dit interferentiepatroon kan de bodembeweging slechts in benaderende zin beschreven worden.

De grootte van de beweging op het maaiveld wordt enerzijds bepaald door de kracht van de bron, door de bodemopbouw en de afstand tot de bron. Doorgaans nemen de bewegingen van het maaiveld, c.q. de maximale amplitude van de beweging (golf), af bij een toenemende afstand tot de bron en door materiaaldemping.



Figuur 4.2: Verschillende trillingsgolven

Om de situatie te analyseren dienen de volgende factoren beschouwd worden:

1. Bron: spoorverkeer;
 - Door het passerende verkeer wordt een dynamische belasting (impuls) op de wegconstructie uitgeoefend.
 - De passagesnelheid en type / tonnage / aantal passages van een representatief voertuig geven de grootste trilling bij de bron.
2. Medium: bodem en wegconstructie;
 - Tijdens de verkeerspassage wordt de omringende grond in beweging gebracht. De afname van de amplitude van de golven wordt veroorzaakt door zowel geometrische demping als materiaaldemping.
 - Zowel overdracht in het wegfunderingspakket als overdracht door dieper gelegen grondlagen hebben effect op de grootte van de trillingsintensiteiten;
 - Stijfheidsgegevens van de grond en verhardingsconstructie van belang hebben invloed op de overdracht van de trilling.
3. Ontvanger: woning
 - Bij overdracht van trillingen (direct onder maaiveld) van de bodem naar de funderingselementen en de draagconstructie treedt een zekere mate van demping op.
 - De wijze van fundering (op palen of op staal) en de constructiewijze van de ontvanger (beton/metselwerk/overspanningen liggers ed.), hebben invloed op de grootte en de beleving van de trillingsamplitude.

Voor het bepalen van de hinderbeleving zijn de trillingsintensiteiten op de vloeren van belang. Bij de overdracht van de trillingintensiteit aan de draagconstructie naar die op vloeren en ondersteunende onderdelen treedt enig(e) opslingerende effect op. De maximale trillingsintensiteit van de vloer volgt door de trillingsintensiteit aan de draagconstructie te vermenigvuldigen met dynamische vergrotingsfactoren.

De factoren die invloed hebben op de intensiteit van de trillingen bij de woning zijn:

- Eigenschappen van de ondergrond;
- Afmetingen van de wegconstructie;
- Energie die het passerend spoorverkeer in de ondergrond aanbrengt.

Ad 1. Bron

De belangrijkste karakteristieken van het spoorverkeer met betrekking tot schade/trillingshinder zijn:

- Soort spoorverkeer;
- Snelheid spoorverkeer;
- Verkeersintensiteit.

Soort verkeer, representatief voertuig

Op basis van eigen waarnemingen gedurende de meetdagen wordt gesteld verschillende type "spoorvoertuigen" gepasseerd zijn, in westelijke (metrostation Diemen Zuid) en in oostelijke richting (Verrijn Stuartweg). Het betreft nieuwe metrovoertuigen en oudere type metrovoertuigen. Daarnaast zijn NS treinen gepasseerd. Een enkele goederentrein is gepasseerd. De trillingsintensiteit (amplitude) van de passage van de goederentrein is niet maatgevend, echter wel langdurig dat deze optreedt (ca. 1 min.).



Figuur 4-3: Passage metrovoertuig, "nieuw model"
Rijrichting Oost



Figuur 4-4: Passage metrovoertuig, "oude model"
Rijrichting West

In de bijlage is het logboek volledig weergegeven van de bemande meting.

Snelheid en spoorverkeersintensiteit

De snelheid en de spoorverkeersintensiteiten van het passerende metroverkeer zijn niet gemeten / bepaald.

Ad 2. Medium

Direct op locatie van de overgang is grondonderzoek uitgevoerd. Daarnaast zijn de meetlocaties van de vibroconussen voorgesondeerd. De bodemgesteldheid is globaal geschematiseerd zoals in tabel 4. is weergegeven. In de bijlage zijn representatieve sonderingen opgenomen.

Tabel 4.1: Globale bodemgesteldheid meetlocaties

Diepte bovenkant laag in m t.o.v. mv			Bodembeschrijving	
mv	à	-4	ZAND	Toplaag
-4	à	-6,5	VEEN	
-6,5	à	-9,5	KLEI	Siltig
-9,5	à	-15	ZAND	Klei insluitingen
-15	à	-20	KLEI	Siltig
-20	à	-22	ZAND	
-22,0			Maximaal verkende diepte	

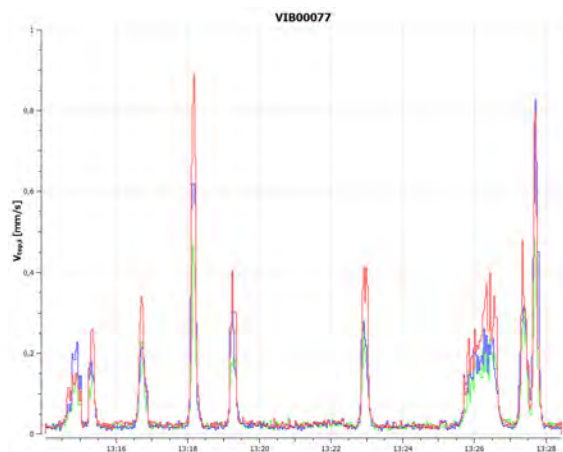
Op basis van de sondering kan de bodemopbouw het beste worden vergeleken met profiel "Amsterdam", volgens de CUR166.

Ad 3. ontvanger

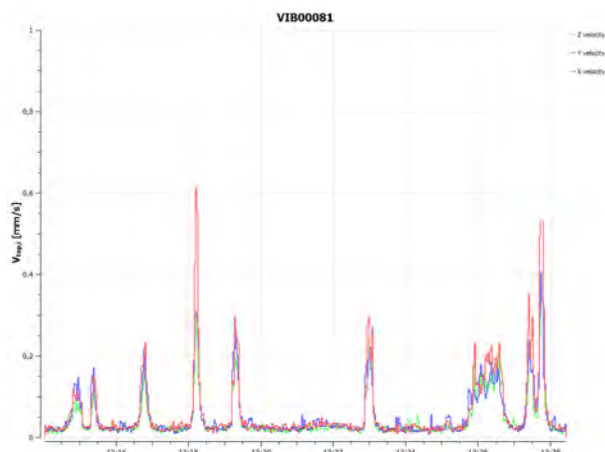
De belendende nieuwbouw zijn de ontvangers van de trillingen. De geplande nieuwbouw zal een betonskelet als draagconstructie bevatten waartegen aan metselwerk geplaatst zal worden. Op basis van deze informatie wordt de nieuwbouw ingedeeld in categorie 2, conform SBR richtlijn A "Schade aan gebouwen".

4.2. 1^e analyses meetdata

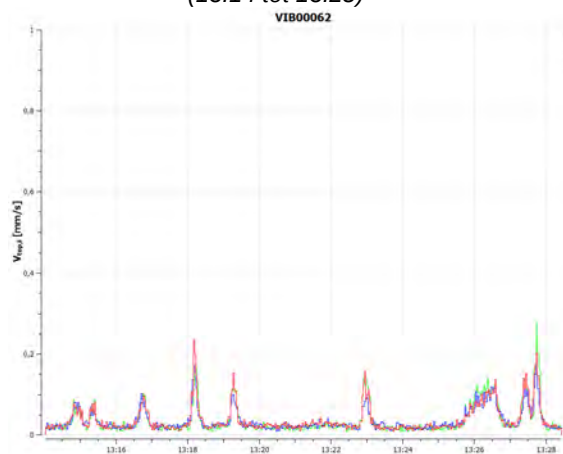
In onderstaande figuren (zowel raai 1 als raai 2) is in detail de grafische weergave van enkele passages opgenomen.



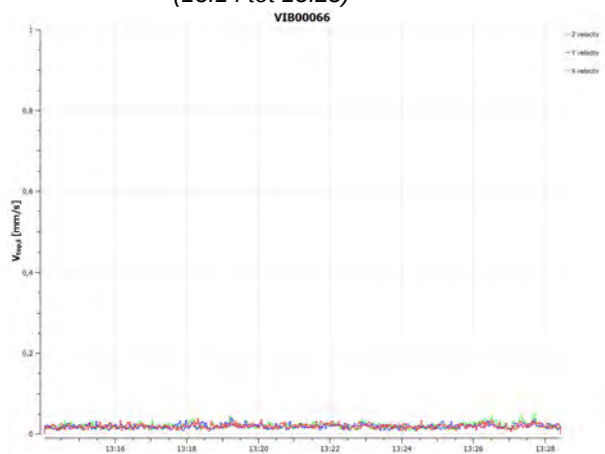
Figuur 4-5: Raai 1, T1.3, VIB077
op maaiveld
snelheid vs. tijd
Meetperiode: 11 mei 2015
(13:14 tot 13:28)



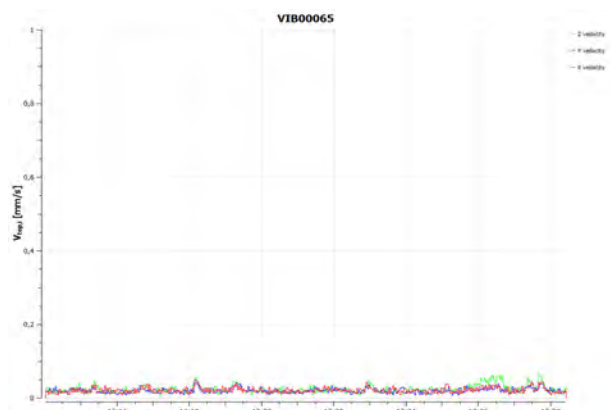
Figuur 4-6: Raai 1, T1.2, VIB081
op maaiveld
snelheid vs. tijd
Meetperiode: 11 mei 2015
(13:14 tot 13:28)



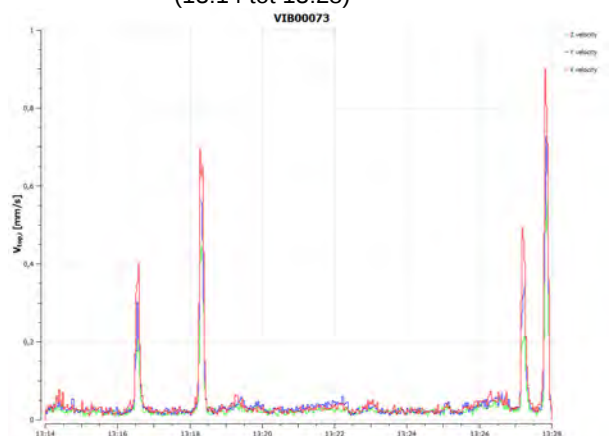
Figuur 4-7: Raai 1, T1.1, VIB062
op maaiveld
snelheid vs. tijd
Meetperiode: 11 mei 2015
(13:14 tot 13:28)



Figuur 4-8: Raai 1, C1.1, VIB066
op diepte (MV-20,0m)
snelheid vs. tijd
Meetperiode: 11 mei 2015
(13:14 tot 13:28)



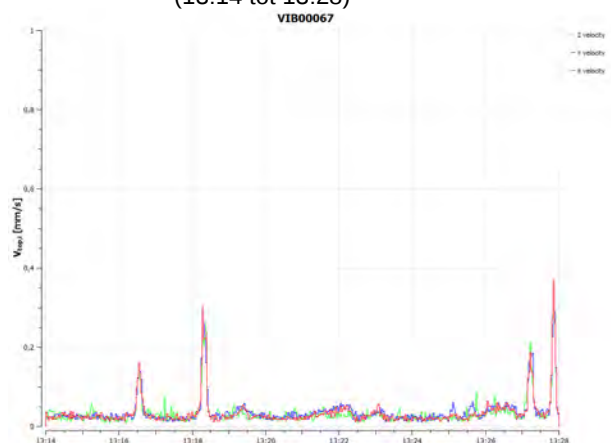
Figuur 4-9: Raai 1, C1.2, VIB065
op diepte (MV-9,4m)
snelheid vs. tijd
Meetperiode: 11 mei 2015
(13:14 tot 13:28)



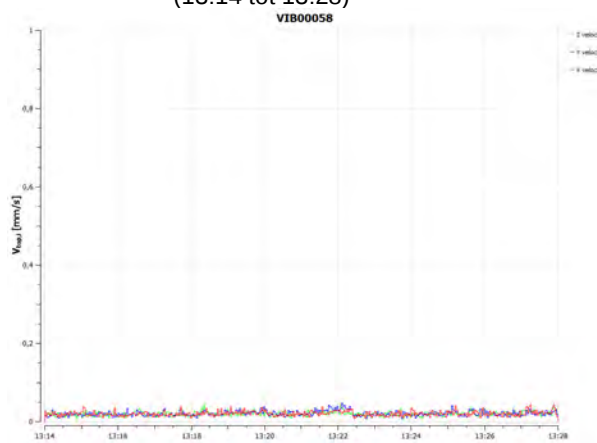
Figuur 4-10: Raai 2, T2.3, VIB073
op maaiveld
snelheid vs. tijd
Meetperiode: 11 mei 2015
(13:14 tot 13:28)



Figuur 4-11: Raai 2, T2.2, VIB091
op maaiveld
snelheid vs. tijd
Meetperiode: 11 mei 2015
(13:14 tot 13:28)



Figuur 4-11: Raai 2, T2.1, VIB067
op maaiveld
snelheid vs. tijd
Meetperiode: 11 mei 2015
(13:14 tot 13:28)



Figuur 4-12: Raai 2, C2.1, VIB058
op diepte (MV-20,5m)
snelheid vs. tijd
Meetperiode: 11 mei 2015
(13:14 tot 13:28)



Figuur 4-13: Raai 2, C2.2, VIB072
op diepte (MV-10,0m)
snelheid vs. tijd
Meetperiode: 11 mei 2015
(13:14 tot 13:28)

Uit een vergelijking tussen de meetpunten van enkele passages volgt het volgende (geldt voor zowel raai 1 als raai 2):

- tussen meetpunten Tx.3 en Tx.2 reduceert de trilling met 25% tot 40%.
- tussen meetpunten Tx.2 en Tx.1 reduceert de trilling met circa 35% tot 40%.

4.3. Modelering

In de bijlage “*Toelichting Modelleren Trillingen*” wordt nader ingegaan op de theoretische achtergrond omtrent een modellering van trillingen.

De modellering en het “fitten” van de meetdata vindt plaats op basis van het in CUR - publicatie 166 ‘*Damwandconstructies*’ opgenomen berekeningsmodel. In CUR 166 wordt voor de bronintensiteit van de trillingsintensiteit een “standaard” bodemprofiel gehanteerd. Door de bronwaarde van het “standaard” profiel te correleren / fitten naar de grondcondities / meetresultaten van de projectlocatie, is met lokale omstandigheden rekening gehouden. Het model is met name opgezet voor analyses van trillingssnelheden.

Omdat het karakteristieke beeld van een trilling veroorzaakt door een passage sterk vergelijkbaar is met dat van een heitrilling, is de module heien gehanteerd.

De belangrijkste parameters die tot de fit leiden zijn:

- Gemiddelde bronsnelheid op referentie afstand 5 m (a_{5m}), heien
- Variatie coëfficiënt, heien
- Dempingsconstante grond
- “Energie” niveau heien

In tegenstelling tot de in CUR 166 (6^e druk) gehanteerde “vereenvoudigde” lognormale verdeling voor de bronwaarde wordt in de analyse uitgegaan van een lognormale verdeling met aangepaste veiligheidsbenadering [art geotechniek oktober 2014].

4.4. Postdictie trillingsmeetdata

Gezien de meetresultaten wordt geconcludeerd dat er geen risico op schade is. Een analyse op schade is derhalve niet uitgevoerd. Voor hinderbeleving zijn de waarden op vloeren van belang ($v_{\text{eff,max}}$). Omdat niet op vloeren gemeten is, is een beoordeling conform SBR B niet uit te voeren. Echter als aangehouden wordt er “als zijnde gemeten op vloeren” dan is een analyse op hinderbeleving te maken.

In tabel 4.2 zijn de afgeleide meetwaarden ($v_{\text{eff,max}}$) opgenomen, waarbij geen onderscheid is gemaakt in rijrichting en type voertuig. Voor het gefitte model zijn in tabel 4.2 eveneens de gehanteerde brongegevens opgenomen. In onderstaande figuren zijn de “gefite” prognose lijnen en de afgeleide $v_{\text{eff,max}}$ trillingsintensiteiten versus de afstand uitgezet.

Tabel 4.2: Meetresultaten en gehanteerde “fit” waarden, snelheden, nieuwbouw

		Raai 1	Raai 2
Meetpunt Tx.3	$v_{\text{eff,max}}$	0,48 – 0,94 (4,96) mm/s	0,76 – 1,05 (2,5) mm/s
Meetpunt Tx.2	$v_{\text{eff,max}}$	0,41 – 0,55 (3,65) mm/s	0,43 – 0,94 (1,6) mm/s
Meetpunt Tx.1	$v_{\text{eff,max}}$	0,17 – 0,21 (2,90) mm/s	0,27 – 0,43 (1,4) mm/s
Bronwaarde v_{5m} , “heien”		0,018 mm/s	0,020 mm/s
Variatiecoëfficiënt		10%	30%
“Energieniveau heiblok”		2,2 kNm	2,4 kNm
Efficiëntie heiblok		100%	100%
Dempingsconstante		0,08 m ⁻¹	0,09 m ⁻¹
Grond → draag. ¹⁾		0,70	0,70
Draag. → vloer. ¹⁾		1,7	1,7

1) Overdrachtsfactoren, draag.= draagconstructie

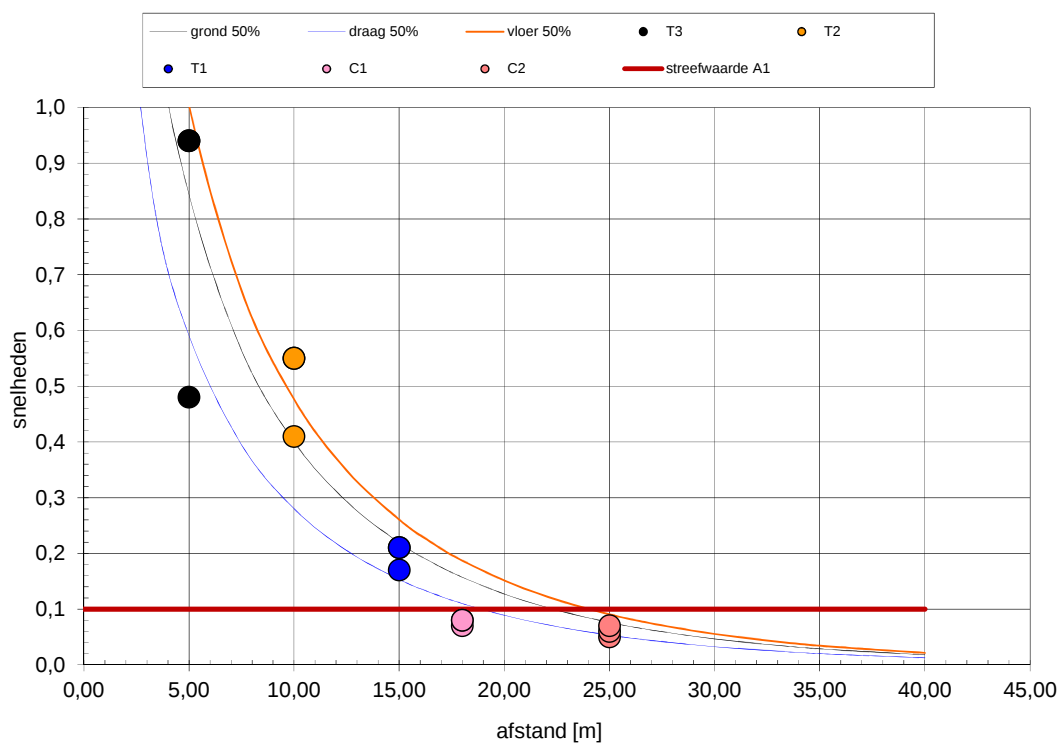
In tabel 4.3 zijn de beoordelingsresultaten voor hinderbeleving opgenomen.

Tabel 4.3: Beoordeling analyseresultaten

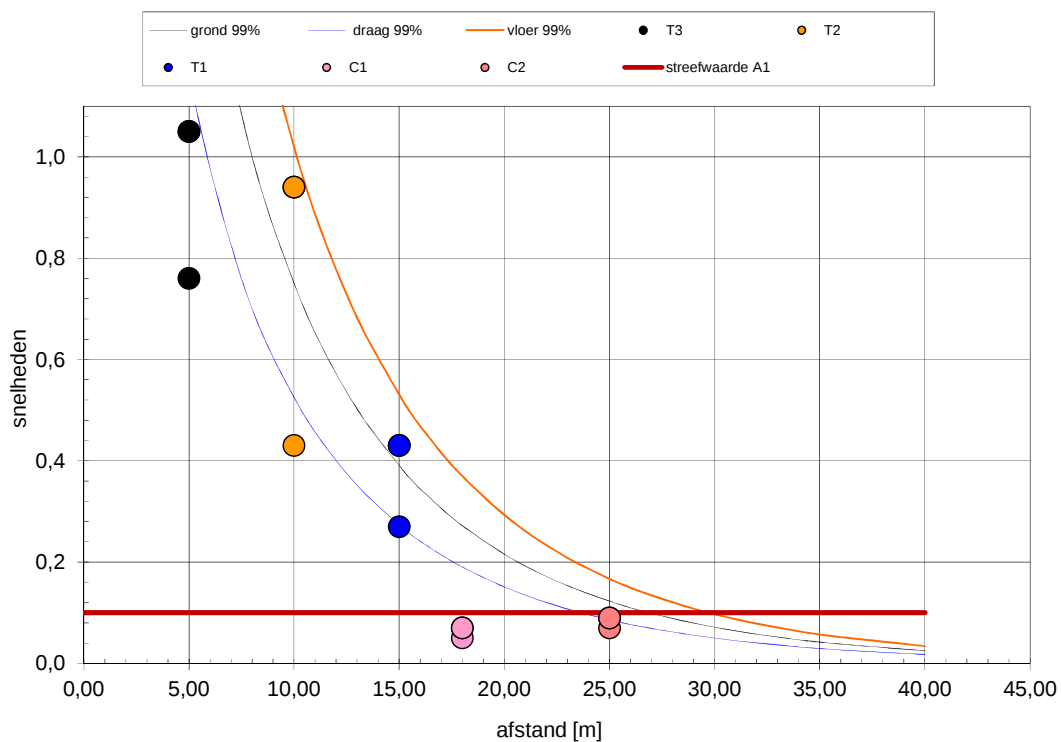
	Raai 1	Raai 2
Afstand Tx.1 tot nieuwbouw	2 m	3 m
Invloedsgebieds grootte (vanaf Tx.1)/ vanaf spoor	10 m / 41,5	15 m / 38
Benodigde reductie (t.o.v. A1)	45%	75%

Opmerking bij de figuren:

De afstand van 15 m in de figuren correspondeert bij raai 1 met de afstand van 31,5 m en bij raai 2 met de afstand van 23 m tot het spoor.



Figuur 4.14: Postdictie meetraai 1 (Blok1, Toren 1 en Blok 2)



Figuur 4.15: Postdictie meetraai 2 (Toren 2 en Blok 3)

4.5. Trillingsreducerende maatregelen

Door toepassen van trillingsreducerende maatregelen zijn de intensiteiten te reduceren. Voor trillingen veroorzaakt door passages van (spoor)verkeer gelden in het algemeen de in tabel 4.4 opgenomen maatregelen. In de tabel is eveneens aangegeven welke (en hoe) de maatregel eventueel toepasbaar zou kunnen zijn.

Tabel 4.4: Trillingsreducerende maatregelen

nr	Maatregel	Toepasbaar?	Hoe?
B1 B2 B3	<u>Bij de Bron:</u> • Snelheidsreductie • Verlaging verkeersintensiteit • Beperken tonnage	nee nee nee	
M1 M2 M3	<u>In het Medium:</u> • Afstand vergroten • Aanpassen weg/baanconstructie • Aanbrengen trillings scherm	ja Nee ja	Geen optie
O1 O2	<u>Bij de Ontvanger:</u> • Aanpassen fundering • Aanpassen skelet	nee nee	

(B1) Reductie maximum snelheid

De invloed van de rijnsnelheid is kwadratisch op de gegenereerde trillingen. De trillingsintensiteit zal minder worden bij reductie van de snelheid.

(B2) Intensiteitbeperking

Beperking van de verkeersintensiteit zal niet direct tot afname van de maximale intensiteit per passage leiden. Het kan wel een reducerend effect sorteren op de hinderbeleving van de bewoners. De aanstoot treedt immers minder vaak op.

(M1) Afstandvergroting

De opgewekte trillingen lopen vanaf de trillingsbron (drempel) door de grond naar de fundering van de nieuwbouw. De grootte van de trillingssnelheid bij de fundering is omgekeerd evenredig met de afstand van de trillingsbron tot de fundering (geometrische verzwakking). Daarnaast vertoont grond materiaal demping

(M2.1) Aanpassen constructiedikte

De dikte van het funderingspakket is een niet-zichtbare belangrijke factor voor trillingsoverdracht. Het vergroten van de stijfheid van het baanlichaam zal een belangrijke bijdrage kunnen leveren in de afname van trillingshinder.

(M2.2) Aanpassen wegconstructie

Ten aanzien van een aanpassing van de spoorweg zijn een aantal opties beschikbaar.

Baanonvlakheden (M2.2)

Door onvlakheden wordt in grote mate de dynamische stootbelasting van de metro op de ondergrond vergroot. De trillingsintensiteit in de bodem (en omgeving) wordt eveneens verhoogd. De ruwheid en vlakheid zijn belangrijke parameters voor de trillingsintensiteit. De door het spoorwegverkeer gegenereerde trillingen zijn evenredig met de wortel van de onvlakheid (zolang de mate van de trillingsdemping door het baanlichaam gering is).

Opsluiten baanconstructie (M2.3)

Bij een gewapende wegconstructie (maatregel M2.3) tezamen met het toepassen van een trillingscherm (dit is een scheidende EPS constructie tussen weg en bebouwing, maatregel M3), wordt de baanconstructie geïsoleerd van de omgeving. De oplossing wordt toegepast met name bij een (water)kering en in wegen die op sterk samendrukbare ondergrond aangelegd worden. De weg/baanlichaam wordt "gewapend" met een kunststof geogrids. In onderstaande figuren zijn voorbeelden van een geogrid en van een toepassing ervan weergegeven.



Te gebruiken bij o.a. ophogingen met de "omslagmethode"



Te gebruiken in o.a. wegen
Figuur 4.16 *Voorbeeld geogrids*



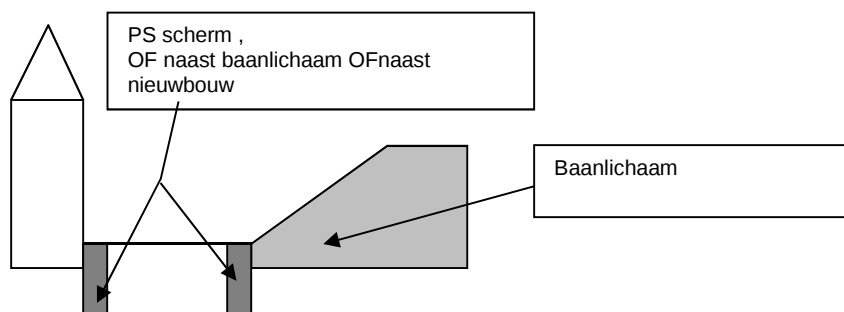
Figuur 4.17 *Voorbeeld van wapening wegconstructie*

(M3) Aanbrengen trillingscherm

Het doel van een trillingscherm is het doorbreken van de transmissie van de trillingen vanuit de bron naar de draagconstructie, zodat de trillingsintensiteit aan en in de nieuwbouw geringer wordt. De doorbreking wordt gerealiseerd door een stijfheidsverschil (over enige dikte) tussen het baanlichaam en de nieuwbouw te creëren. Bijvoorbeeld door een sleuf opvullen met licht materiaal (dit is een PolyStyreen trillingscherm) en dit afdekken met een tuinperk / betontegel etc.

Uit de literatuur is bekend dat indien voldoende stijfheidsverschil over voldoende dikte tussen bron en ontvanger aangebracht wordt, een redelijke reductie van de trillingsintensiteiten optreedt direct achter het "scherm". Het scherm is dicht tegen het pand dan wel direct naast de weg aan te brengen. Het scherm dient beschermt te worden tegen milieutechnische invloeden (bijvoorbeeld oliën) en afgedekt te worden met een beschermlaag (tegels).

Verwacht wordt dat het scheiden van het baanlichaam tot reductie van de hinderbeleving zal leiden. Opgemerkt wordt dat de scheidingsconstructie tussen de bron en de nieuwbouw wel enige dikte dient te hebben. In figuur 4.18 is schematisch aangegeven wat beoogd wordt.



Figuur 4.18 Voorbeeld plaatsing scherm tussen bron en pand

Rekenmethodiek

Volgend uit de analyses van de meetdata van het meetpunt op de vloer, volgt een benodigd percentage van de trillingsreductie. Verwacht mag worden dat indien de optredende trillingsintensiteiten met dit percentage gereduceerd zijn, dat dan aan streefwaarde A1 voldaan kan worden.

De grootte van de verkregen trillingsreductie (situatie inclusief scherm), is onder andere afhankelijk van de dimensies (dikte en hoogte) van het scherm en de locatie ervan ten opzichte van de bron (afstand). Naarmate het scherm op grotere afstand tot de bron staat, zal de trillingsreductie minder zijn. Omgekeerd, op het moment dat het scherm tegen de draagconstructie aangebracht wordt, is het effect juist groter. Daarnaast spelen de gelaagdheid van de ondergrond en de stijfheidsverschillen tussen de grond waarin het scherm wordt aangebracht en het scherm zelf een rol.

Een breed ondiep scherm levert een grotere reductie dan een smal ondiep scherm. Echter, bij een ondiep scherm zal een groot deel van de Rayleigh golven onder het scherm door ongestoord passeren. De invloed van de dikte van het scherm is minder naarmate het scherm dieper is aangebracht. Voor iedere combinatie van dikte (d) en diepte (h) van het scherm is een optimum van de trillingsreductie te bepalen.

Dimensies trillingscherm, rekenmethodiek

Momenteel bestaat er nog geen uitgebreide rekenmethodiek om de invloed van sleuven kwantitatief te bepalen. Met geavanceerde rekenmodellen (b.v. Eindige Elementen Methode PLAXIS) zijn dergelijke dynamische aspecten te beschouwen. Op het model wordt een trillingsignaal van een passage opgelegd. De meetsignalen "op afstand van de bron" worden gebruikt om het grondmodel te ijken. Uit de analyses waarbij zowel schermafmetingen (dikte en hoogte) als locatie ervan gevarieerd worden, volgt een optimum qua dimensies.

Ervaringen Fugro

In het verleden is door Fugro het effect van een trillingscherm c.q. het onderbreken van de vaste toplaag op de trillingen in een eindig elementen model beschouwd (gegeven een vergelijkbare bodemopbouw). Uit deze beschouwing volgt dat voor panden gefundeerd op staal het onderbreken van een vaste toplaag een trillingsreducerend effect heeft van 40% tot 60%.

Door Fugro zijn voor een aantal vergelijkbare projecten (wegverkeer) uitgevoerd in Voorhout, Uithoorn, Vlaardingen, en Breda, zowel trillingsmetingen (voorafgaand en na aanbrengen van het scherm) als adviezen voor toepassen van trillingschermen uitgebracht. Reducties van circa 70% tot 80% zijn verwezenlijkt

Opgemerkt wordt dat gezien het ontwerp van de trillingscherm van diverse factoren afhankelijk is kan op voorhand geen garantie worden afgegeven op een te realiseren reductiefactor. Geadviseerd wordt om na het aanbrengen van een trillingscherm een herhalingsmeting te laten uitvoeren naar de effectiviteit van het scherm.

5. CONCLUSIES

In opdracht van Holland Park B.V. te Diemen heeft Fugro GeoServices B.V. te Leidschendam bemande trillingsmetingen tijdens passage van treinverkeer (NS treinen / metro voertuigen) aan de Eekholt 4 te Diemen uitgevoerd en heeft geotechnische adviezen ten aanzien van trillingsreducerende maatregelen uitgebracht..

Situatie

Door passage van treinen en metro's ontstaan trillingen in de ondergrond. De trillingen worden via de ondergrond overgedragen op de draagconstructie van naastgelegen geplande nieuwbouw (appartementen complex). De trillingen leveren een risico op schade aan de woningen (SBR-A richtlijn) dan wel hinderbeleving voor bewoners in de woningen (SBR-B richtlijn).

Metingen

Met bemande trillingsmeting uitgevoerd op 8 en 11 mei 2015 zijn de huidig optredende trillingsintensiteiten inzichtelijk gemaakt. In een tweetal raaien is op onderlinge afstand van 5 m op maaiveld gemeten. Daarnaast zijn met vibroconussen bij meetpunt 3 (teen van het talud) zowel in de 1^e als in de 2^e zandlaag eveneens de trillingen gemeten.

De afstand van meetpunt 3 (en de vibroconussen) tot aan de gevel van de nieuwbouw bedraagt bij raai 1 2 m en bij raai 2 3 m. Raai 1 is representatief voor Blok 1, Toren 1 en Blok 2. Raai 2 is representatief voor Toren 2 en Blok 3.

Nieuwbouw (SBR A en SBR B indelingen)

Met betrekking tot risico op schade wordt de nieuwbouw ingedeeld in categorie 2 (conform SBR A). Dit omdat de nieuwbouw een betonnen skelet zal bevatten met metselwerk daartegenaan geplaatst. Met betrekking tot hinderbeleving is de functie wonen van toepassing in een toekomstige situatie (conform SBR B)

Beoordeling / conclusie meetdata

De meetresultaten zijn zowel beoordeeld (en getoetst) aan de grenswaarde conform SBR - richtlijn A "Schade aan bouwwerken" als aan de streefwaarden conform SBR - richtlijn B "Hinder voor personen in gebouwen". Voor beide meetraaien wordt het volgende geconcludeerd:

- Omdat de grenswaarden aan de draagconstructie niet wordt overschreden, wordt verwacht dat **geen risico op schade** door metro passages aanwezig is;
- Omdat de streefwaarde A1 op de vloeren overschreden worden, wordt verwacht dat **hinderbeleving aannemelijk** is. Streefwaarde A1 wordt overschreden. Omdat geen gegevens van herhalingspassages beschikbaar zijn, is geen oordeel ten aanzien van streefwaarde A3 te maken. Qua perceptie worden de trillingen als "matige hinder" omschreven.

Opgemerkt wordt dat niet gemeten is aan de draagconstructie dan wel op vloeren. De nieuwbouw is er immers nog niet. De meetdata is als zijnde dat wel gemeten is aan de draagconstructie c.q. op de vloer beschouwd.

Invloedsgebied

Op de meetdata zijn analyses uitgevoerd, waarbij de meetwaarden "gefit" zijn op prognoselijnen. De rekenmethodiek zoals deze is opgenomen in het handboek CUR 166

Damwandconstructie is hierbij gehanteerd. De afgeleide meetwaarden voor de $v_{\text{eff max}}$ zijn versus de afstand geanalyseerd. Door in de analyses / prognoses de grens- c.q. streefwaarde in te voeren, volgt een grootte van een invloedsgebied, waarbinnen overschrijdingen aannemelijk zijn.

Verwacht wordt dat bij raai 1 (Blok 1, Toren 1 en Blok 2) vanaf een afstand van 10 m (ten opzichte van de locatie waar de vibroconus / meetpunt 1 heeft gestaan) geen overschrijdingen van de streefwaarde A1 meer te verwachten is. Bij meetraai 2 (Toren 2 en Blok 3) is deze afstand 15 m. Deze afstanden komen overeen met, bij raai 1, 41,5 m en bij raai 2 met 38 m tot het spoor.

De toekomstige afstand van de draagconstructie staat op kortere afstand dan genoemde grootte van het invloedsgebied (2 m bij raai 1 en 3 m bij raai 2). Dit is 33,5 m (raai 1) en 26 m (raai 2) tot het spoor

Trillingsreducerende maatregelen

Om de optredende trillingsintensiteiten te reduceren zijn verscheidene reducerende maatregelen toepasbaar. Deze variëren van maatregelen bij de bron tot bij de nieuwbouw tot in de grond. Omdat bij de bron (spoorbaanlichaam) geen maatregelen mogelijk zijn, is dit hier geen optie. Maatregelen in het medium (trillingscherf) dan wel in de nieuwbouw kunnen een optie zijn, waarbij verwacht wordt dat de maatregel trillingscherf in het medium economisch gezien het aantrekkelijkst is.

Advies

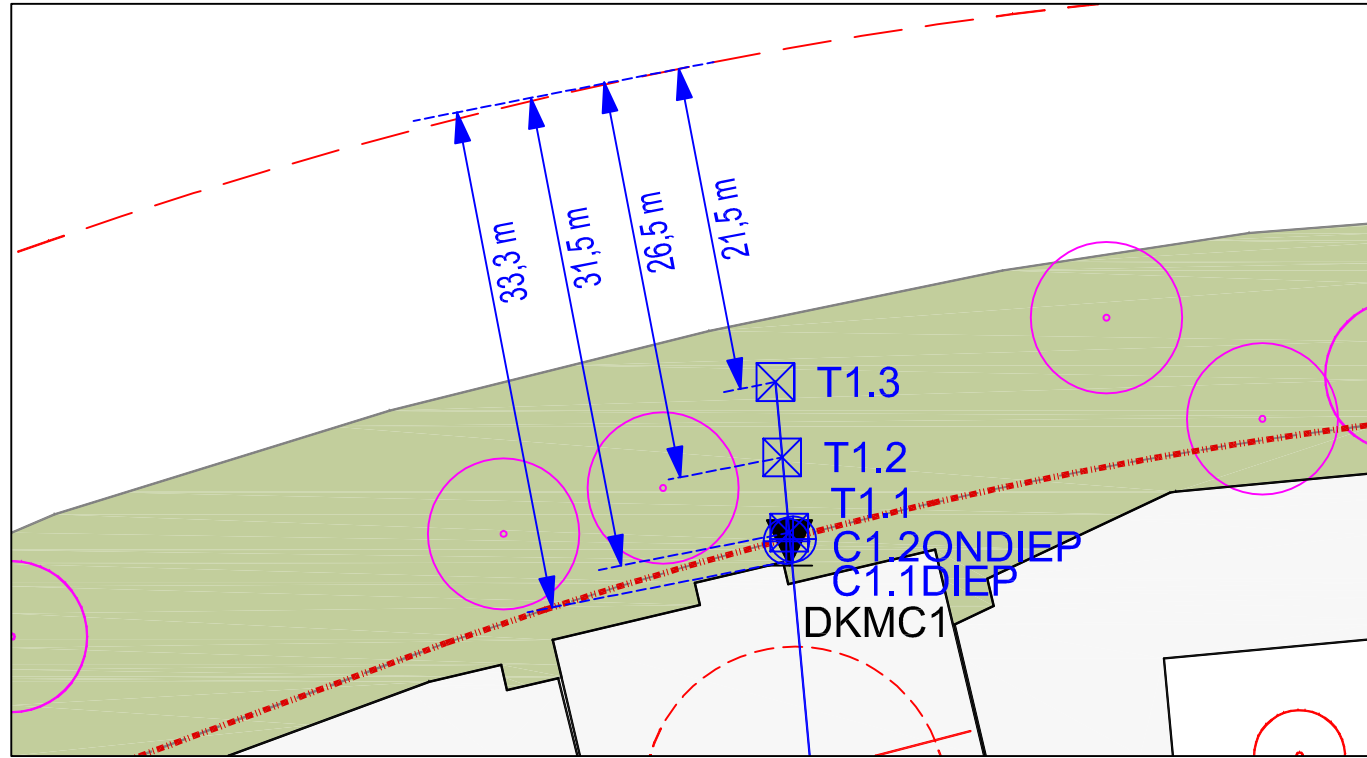
Uit de toetsing / beoordeling, conform SBR A en SBR B, van de meetresultaten en postdictie ervan, wordt geconcludeerd dat geen risico op schade is voor toekomstige belendingen maar dat hinderbeleving aannemelijk is. Geadviseerd wordt trillingsreducerende maatregelen toe te passen.

Omdat maatregelen bij de bron (spoor en baanlichaam) geen optie zijn en maatregelen in de constructie van de nieuwbouw economisch niet aantrekkelijk zijn (is de verwachting), wordt geadviseerd de invloed van maatregelen in het medium (grond) te onderzoeken. Gedacht kan worden aan een polystyreen scherm (piepschuim PS) van enige afmetingen (dikte en diepte) dat of direct naast de fundering aangebracht wordt of naast het metrobaanlichaam.

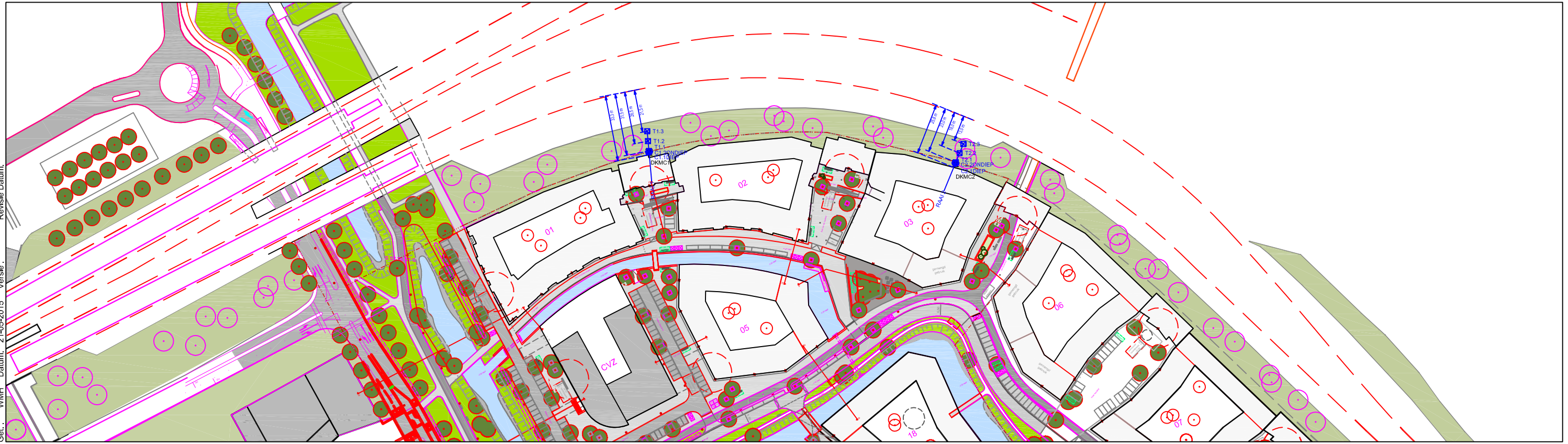
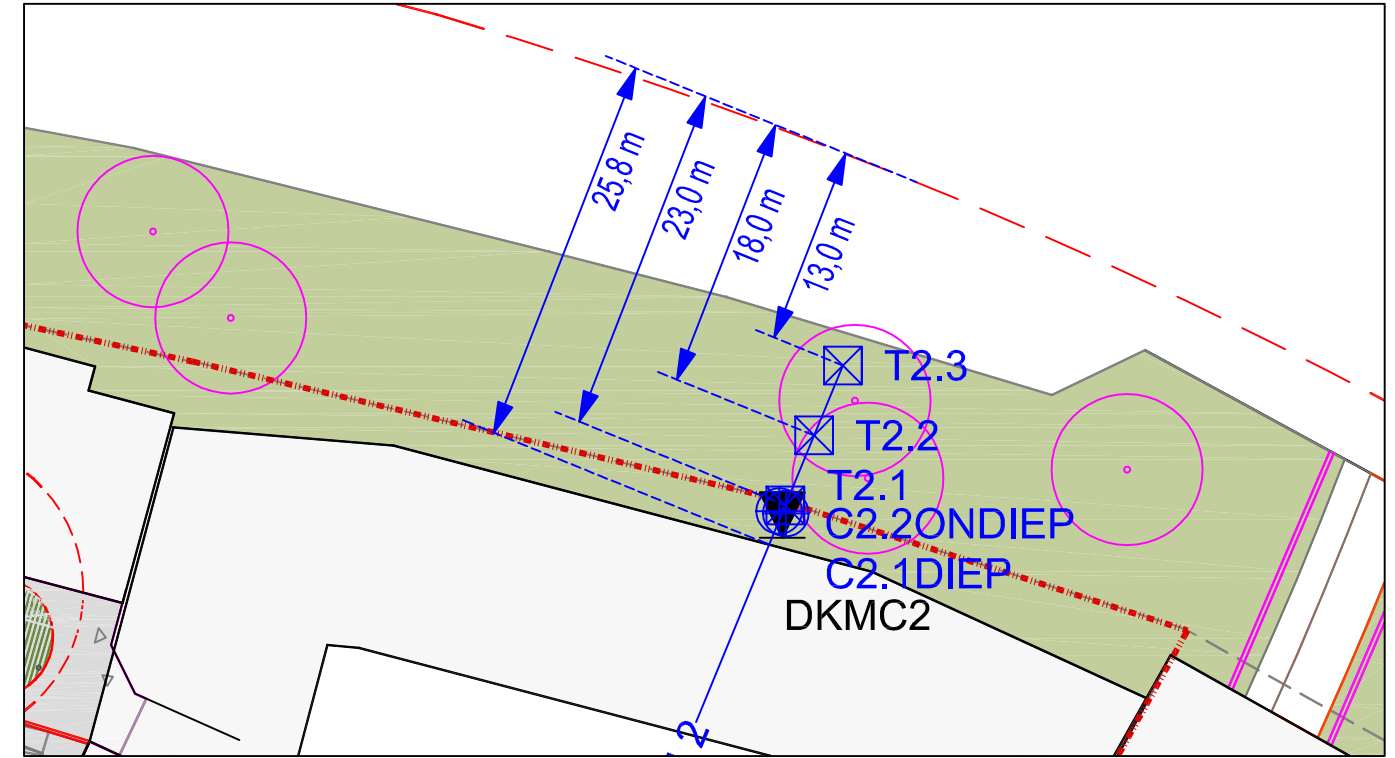
Voor dimensionering van isolatieblokken aan en in de fundering zelf wordt geadviseerd een dynamisch constructeur te benaderen. Ter vergelijking: In Heemstede direct naast het spoor zijn als maatregel isolatieblokken in de fundering van de constructie opgenomen. Omdat een strenge uitvoering / directie op het werk aanwezig was, is de beoogde reductie uiteindelijk benaderd. Fugro heeft nauwe contacten met dynamische constructeurs. Desgewenst kunnen zij een nadere invulling adviseren.

Ten aanzien van de dimensionering van een trillingscherf in de grond dienen aanvullende metingen en analyses uitgevoerd te worden. Met bijvoorbeeld het eindige elementen programma PLAXIS is een trillingscherf te dimensioneren. De locatie en de afmetingen van het PS scherm zijn dan te bepalen. Als input dient een totaal trillingssignaal van een metropassage in het model opgelegd te worden. Het signaal dient alle wielpassages van een enkele metro te bevatten. Met de huidig uitgevoerde trillingsmetingen is geen volledige passage "gepakt", waarbij iedere afzonderlijke as passage zichtbaar is. Met de uitgevoerde metingen is gedurende de sampletijd van enkele seconden de maximale amplitude van de

passage als 1 enkele waarde opgeslagen. Geadviseerd wordt trillingsmetingen met versnellingsopnemers uit te laten voeren, waarbij de passage hoog frequent gesampled wordt. Fugro kan de metingen en de analyses met PLAXIS verzorgen.



Schaal 1:500



0 20.0 40.0 60.0 80.0 100.0 m

Schaal 1 : 2000

SITUATIE MET MEETPUNTEN

Trillingsmeting te Diemen

Opdr. : 1015-192-000

Bijl. : 1

Dagrapport bemande trillingmeting (1015-0192-000)

Nabij eekholt 4, te diemen.

vrijdag 08 mei 2015

7:45 gearriveerd op locatie.

Er is vandaag geen tijd meer geweest om een bemande trillingsmeting uit te voeren.

De gehele dag bezig geweest met uitzetten/inmeten/overleggen/installeren en programmeren van de trilmeet systemen.

Om ongeveer 14:00 is raai 2 gestart met meten.

Om 15:48:10 is de sondeerrups (16 ton)langs raai 2 gereden, om effect te zien in de meetwaarde. Zie data raai 2.

Om ongeveer 16:45 is raai1 gestart met meten.

Zie ook print screen voor instellingen vibra's

Om 17:00 locatie verlaten

maandag 11 mei 2015

9:15 gearriveerd op locatie.

9:30-10:00 raai 1 (C1.1 C1.2 T1.1 T1.2 T1.3) vibra's uitgelezen, dit kan invloed hebben op de meetsignalen.

10:00-10:30 raai 2 (C2.1 C2.2 T2.1 T2.2 T2.3) vibra's uitlezen, dit kan invloed hebben op de meetsignalen.

Sommige metingen in raai twee zijn niet helemaal goed gegaan, zie data.

10:45 is langema langs geweest om te kijken hoe het ging.

11:00 is opdrachtgever richard deckers langs geweest, heb aan hem het nodige uitgelegd.

Het turven van Metro:

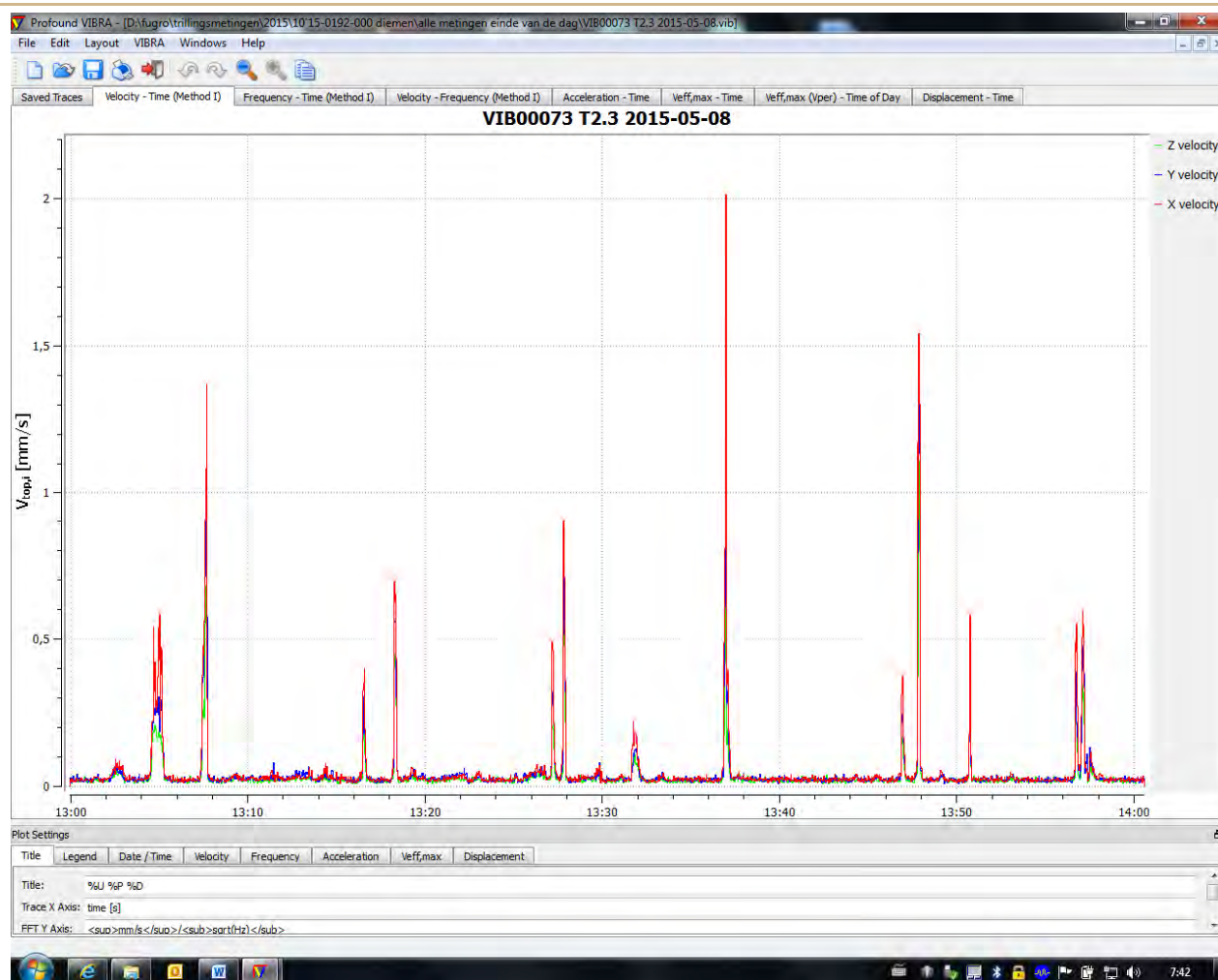
Het tijdstip dat genoteerd is het moment dat de metro tussen raai1 en raai twee bevind.

Niet alle gepasseerde metro's zijn genoteerd.

Tijd	richting(W/O)	spoor (1/2/3)	metrotype (oud/nieuw)	NS
9:26:50	W	2	N	
09:27:18	O	1	N	
09:35:05	O	1	O	
09:36:50	W	2	N	
09:41:10	O	1	O	
09:46:35	W	2	N	
09:48:10	O	1	N	
09:48:40	W	2	O	
09:54:10	O	1	N	
09:56:40	W	2	O	
09:56:40	O	1	N	
10:05:20	W	1	O	
10:07:40	O	2	--	
10:10:15	O	1	N	
10:12:40	W	1	N	
10:16:20	W	2	--	
10:17:50	O	1	O	
10:26:10	W	2	O	
10:27:40	W	2	--	
10:29:40	O	1	N	
10:58:40	O	1	N	
11:01:10	O	1	O	
11:28:20	O	1	O	
11:36:50	O/W	1/2	N/-- twee metro's	
12:08:40	O	1	O	
12:17:30	W	2	--	
12:19:59	O	1	N	
12:27:00	O	1	N	
12:31:40	O	1	N	
12:37:10	O	1	N	

Tijd	richting(W/O)	spoor (1/2/3)	metrotype (oud/nieuw)	NS
12;41;20	O	1	0	NS
12;48;10	O	1	N	
12;56;50	W	2	--	
12;57;15	O	1	N	
13;07;30	W/O	1/2	N/-- twee metro's	
13;14;45	W			NS
13;15;30	O			NS
13;16;40	W	2	N	
13;18;20	O	1	O	
13;19;30	O			NS
13;23;00	O			NS
13;26;30	O			goederentrein
13;27;15	W	2	N	
13;29;00	W			NS
13;31;00	O			NS
13;31;50	W	3	N	
13;36;50	O/W	1/2	N/O twee metro's	
13;37;30	o			NS
13;44;30	W			NS
13;45;40	O			NS
13;46;50	W			NS
13;47;00	W	2	N	
13;47;50	O	1	N	
13;49;10	O			NS
13;50;50	O	1	O	
13;53;15	O			NS
13;56;50	W	2	N	
13;57;10	O	1	O	

Tussen 13:00 uur en 14:00 uur zijn alle metro/trein bewegingen genoteerd.



Einde turven

De trein bewegingen zijn niet terug te vinden in de metingen. Zie grafiek hierboven.

Zie foto's, 06gps en waterpas gegevens voor positie van de meetpunten

14:45 metingen uitgelezen en instrumenten verwijderd .

Om 16:30 uur locatie verlaten.

LEGENDA TERREINPROEVEN EN GRONDSOORTEN

Boringen / Peilbuizen

	Handboring nog niet uitgevoerd
	Handboring uitgevoerd
	Handboring uitgevoerd met 1 peilbuis
	Handboring uitgevoerd met 2 peilbuizen
	Mechanische boring nog niet uitgevoerd
	Mechanische boring uitgevoerd
	Mechanische boring uitgevoerd met 1 peilbuis
	Mechanische boring uitgevoerd met 2 peilbuizen
	Mechanische boring uitgevoerd met 3 peilbuizen
	Boring uitgevoerd door derden
	Boring uitgevoerd met peilbuis door derden
	Gedrukte peilbuis (PB) / minifilter (MF) nog niet uitgevoerd
	Gedrukte peilbuis (PB) / minifilter (MF) uitgevoerd

Overige symbolen

	Meetpunt
	Hoogtemaat

Sonderingen

	Sondering met plaatselijke kleefmeting nog niet uitgevoerd
	Sondering met plaatselijke kleefmeting uitgevoerd
	Sondering zonder plaatselijke kleefmeting nog niet uitgevoerd
	Sondering zonder plaatselijke kleefmeting uitgevoerd
	Slagsondering uitgevoerd
	Handsondering uitgevoerd
	Multigrondwatersondering nog niet uitgevoerd
	Multigrondwatersondering uitgevoerd
	Sondering met bolconus nog niet uitgevoerd
	Sondering met bolconus uitgevoerd
	Waterspanningsmeter nog niet uitgevoerd
	Waterspanningsmeter uitgevoerd
	Sondering uitgevoerd door derden
	Sondering met plaatselijke kleefmeting uitgevoerd door derden
	Hellingmeterbuis nog niet uitgevoerd
	Hellingmeterbuis uitgevoerd

Type sonderingen

D	Diepsondering
HS	Handsondering
S	Slagsondering

Toegevoegde metingen

KM	Meting van de plaatselijke kleef
P	Meting van de waterspanning
M	Meting van de magnetische veldsterkte
G	Meting van de geleidbaarheid
S	Meting van de schuifgolfsnelheid (seismische meting)
T	Meting van de temperatuur

Legenda / Terminologie

Grind

	Grind, siltig
	Grind, zwak zandig
	Grind, matig zandig
	Grind, sterk zandig
	Grind, uiterst zandig

Zand

	Zand, kleilig
	Zand, zwak siltig
	Zand, matig siltig
	Zand, sterk siltig
	Zand, uiterst siltig

Veen

	Veen, mineraalarm
	Veen, zwak kleilig
	Veen, sterk kleilig
	Veen, zwak zandig
	Veen, sterk zandig

Klei

	Klei, zwak siltig
	Klei, matig siltig
	Klei, sterk siltig
	Klei, uiterst siltig
	Klei, zwak zandig
	Klei, matig zandig
	Klei, sterk zandig

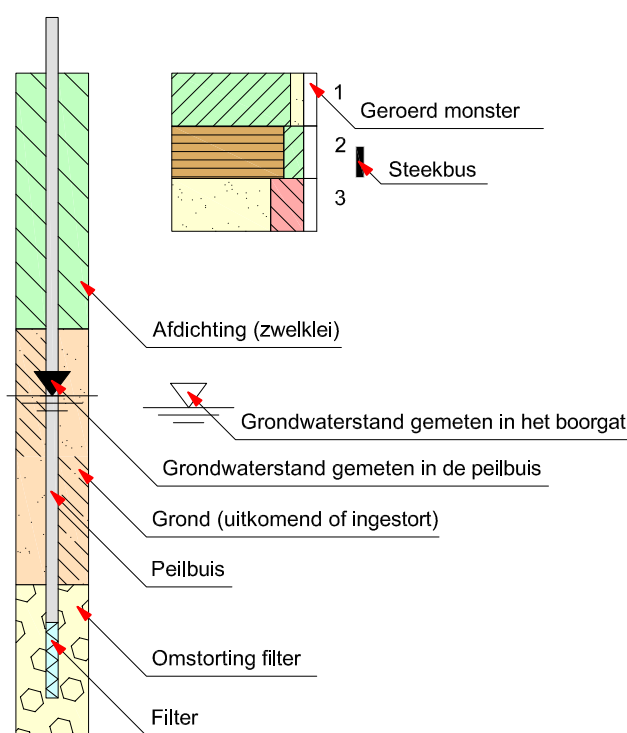
Leem

	Leem, zwak zandig
	Leem, sterk zandig

Overige toevoegingen

	Zwak humeus
	Matig humeus
	Sterk humeus
	Zwak grindig
	Matig grindig
	Sterk grindig
	Puin

Peilbuis



Meettechniek

De standaard bij Fugro toegepaste conus is de “elektrische kleefmantelconus”, waarmee de conusweerstand, de plaatselijke wrijvingsweerstand en de helling gelijktijdig worden gemeten. Sinds februari 2013 is de nieuwe norm *NEN-EN-ISO 22476-1:2012/C1:2013 Geotechnisch onderzoek en beproeving - Veldproeven - Deel 1: Elektrische sondering met en zonder waterspanningsmeting* van toepassing als vervanging van NEN 5140, die is terug getrokken. In NEN 9997-1 wordt echter nog wel verwezen naar NEN 5140.

Bij het uitvoeren van een sondering conform *NEN-EN-ISO 22476-1:2012/C1:2013* wordt de puntweerstand gemeten, die moet worden overwonnen om een conus met een tophoek van 60° en een basisoppervlak van 1000 mm^2 met een constante snelheid van ca 20 mm/s in de bodem te drukken. Voor de meting van de wrijvingsweerstand is een mantel met een oppervlak van 15000 mm^2 boven de punt aangebracht. De druk op de conuspunt (conusweerstand in MPa) en de wrijving langs de kleefmantel (plaatselijke wrijvingsweerstand in MPa) worden door rekstroken in de conus continu digitaal gemeten. Volgens *NEN-EN-ISO 22476-1* mag het basisoppervlak van de conus tussen 500 en 2000 mm^2 variëren zonder dat correctiefactoren op de meetresultaten moeten worden toegepast. Fugro sonderingen worden standaard uitgevoerd met een sondeerconus met een basisoppervlak van 1500 mm^2 en een manteloppervlak van 20000 mm^2 .

Veelal wordt gebruik gemaakt van een conus met een korter cilindrisch deel boven de conuspunt dan in *NEN-EN-ISO 22476-1* vermelde 400 mm voor een standaard conus. Het cilindrische deel vanaf de conuspunt van de standaard door Fugro gebruikte conussen een lengte heeft van 230 mm in plaats van de genormeerde lengte. Onderzoek¹⁾ heeft aangetoond, dat de invloed van de lengte van deze conus op het sondeerresultaat verwaarloosbaar is, terwijl met een kortere conus met minder risico een grotere sondeerdiepte kan worden bereikt.

De meetsignalen worden digitaal naar een elektrische meeteenheid gestuurd en samen met de diepte en de tijd opgeslagen. Definitieve verwerking vindt daarna op kantoor plaats, waarbij de gemeten parameters tegen de diepte in grafiekvorm worden uitgewerkt. Door continue registratie van de gemeten conus- en wrijvingsweerstand wordt een nauwkeurig beeld van de gelaagdheid en de vastheid van de bodem verkregen.

Afwijking van de conus met de verticaal worden continu geregistreerd, waarmee bij de uitwerking de diepte wordt gecorrigeerd en zo een onjuiste diepte-aanduiding als gevolg van “scheef sonderen” wordt voorkomen.

Interpretatie van de sonderingen met plaatselijke wrijvingsweerstand

Meting van zowel de conusweerstand q_c als de plaatselijke wrijvingsweerstand f_s maakt het mogelijk het wrijvingsgetal R_f te berekenen. Het wrijvingsgetal wordt gedefinieerd als het quotiënt van de plaatselijke wrijving en de op gelijke diepte gemeten conusweerstand in procenten. Hierbij wordt rekening gehouden met laagscheidingen ter hoogte van de mantel.

Het wrijvingsgetal R_f geeft samen met de conusweerstand q_c een goed beeld van de bodemopbouw *beneden* de grondwaterspiegel. In de onderstaande tabel zijn enige kenmerkende waarden van het wrijvingsgetal aangegeven. *Met nadruk dient te worden gesteld dat deze waarden slechts indicatief zijn en getoetst dienen te worden aan boringen of lokale ervaring en uitsluitend gelden voor de cilindrische elektrische conus.*

grondsoort	wrijvingsgetal in %	grondsoort	Wrijvingsgetal in %
Grind, grof zand	0,2 – 0,6	Klei	3,0 – 5,0
Zand	0,6 – 1,2	Potklei	5,0 – 7,0
Silt, leem, löss	1,2 – 4,0	Veen	5,0 – 10,0

In geroerde grond en in grond boven de grondwaterspiegel kunnen grote afwijkingen ten opzichte van de genoemde waarden voorkomen en gelden deze waarden niet.

¹⁾ Lunne en Powell, A comparison of different sized piezocones in UK clays.

Presentatie sondeergegevens

Sonderingen kunnen worden uitgewerkt met interpretatie van het wrijvingsgetal voor identificatie van de bodemlagen. De identificatie van de bodemlagen is dan uitgevoerd volgens Robertson [1990]², die door Fugro is aangepast aan de Nederlandse omstandigheden. Bij deze interpretatie wordt uitgegaan van de genormaliseerde waarden van de conusweerstand nQ_c en wrijvingsgetal nR_f als ingangsparameters.

De genormaliseerde waarden van de conusweerstand nQ_c en wrijvingsgetal nR_f worden berekend, uit de gemeten wrijvingsweerstand f_s en conusweerstand q_c , indien mogelijk gecorrigeerd voor de waterspanning en de verticale effectieve - en totale grondspanning volgens de onderstaande formules.

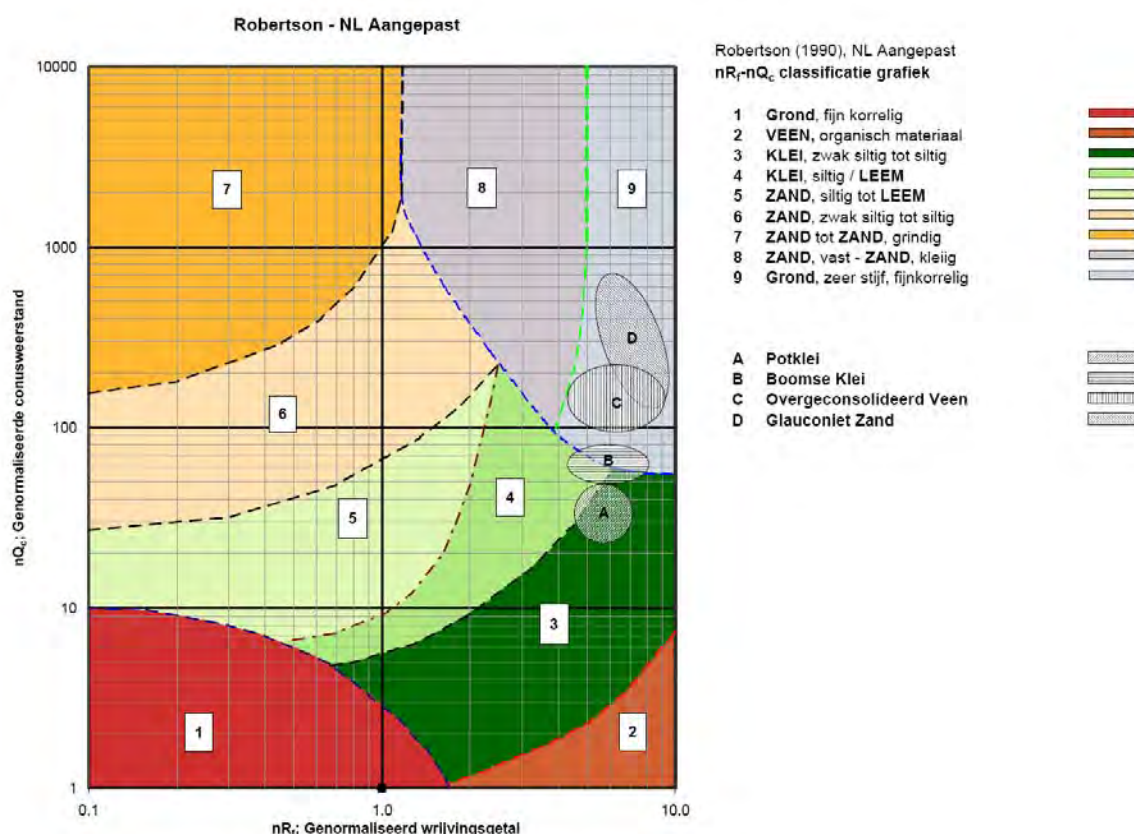
Genormaliseerde conusweerstand:
$$nQ_c = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}}$$

Genormaliseerd wrijvingsgetal:
$$nR_f = \frac{100 \cdot f_s}{q_t - \sigma_{v0}}$$

In geval er geen waterspanning is gemeten, wordt voor q_t de waarde van q_c gebruikt.

Voor de grondsoorten, die specifiek zijn voor de Nederlandse ondergrond condities, zijn in de Bodem Classificatiegrafiek van Robertson [1990] twee aanpassingen gedaan om de Nederlandse situatie beter te beschrijven:

- Gebieden 4 en 5 zijn anders ingedeeld, zodat losgepakte zanden en ondiepe kleilagen beter worden geïnterpreteerd. Deze aanpassingen zijn in onderstaande figuur weergegeven.
- Bovendien is een extra voorwaarde ingebracht om Holocene veenlagen goed te kunnen classificeren. Voor $q_c < 1,5$ MPa en $R_f > 5$ % wordt de grond als veen geclassificeerd.



Voor een aantal specifieke grondtypen, zoals bijvoorbeeld Potklei, Boomse klei, overgeconsolideerd veen en glauconiethoudend zand is tevens het classificatie gebied aangegeven. Deze stemmen niet direct overeen met de benamingen van gebieden 1 tot en met 9.

² Robertson, P.K. [1990] "Soil Classification using the cone penetration test". Canadian Geotechnical Journal, 27(1), 151-8²

De identificatie is indicatief en alleen geldig voor lagen onder de grondwaterstand. De resultaten dienen te worden geverifieerd met boringen of geologische informatie. Uitgedroogde cohesieve toplagen geven een te hoge waarde worden voor het wrijvingsgetal, waardoor bijvoorbeeld uitgedroogde kleilagen mogelijk onterecht worden geïnterpreteerd als veenlagen. Ook is de correlatie voor de toplagen minder betrouwbaar vanwege het lage effectieve spanningsniveau in deze lagen.

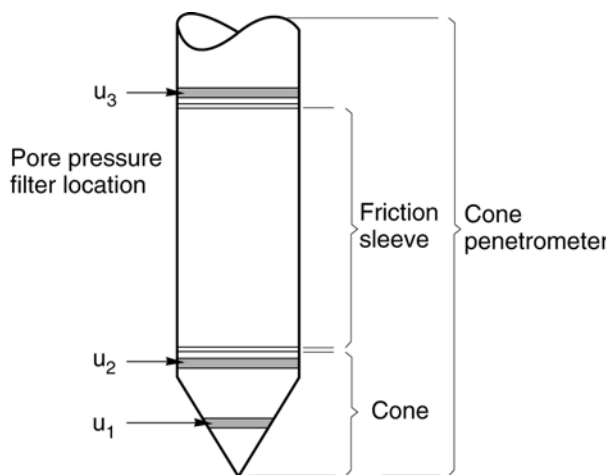
Andere conustypen

Naast de meting van conusweerstand en plaatselijke wrijving is het mogelijk extra (combinaties van) metingen uit te voeren. In onderstaand schema zijn enkele mogelijkheden aangegeven. Indien gewenst kan nadere informatie over metingen en toepassingsmogelijkheden worden verschaft.

type meting	Meetresultaten	toepassingsmogelijkheden
waterspanning	waterspanning ter plaatse van de punt	registreren waterremmende lagen indicatie stijghoogte grondwater classificatie / gelaagdheid bodem
magnetometer	Magnetische veldsterkte in 3 orthogonale richtingen (X,Y,Z)	Blindganger onderzoek, onderzoek ligging obstakels (stalen leidingen, grondankers), onderzoek paalpunt niveau / schoorstand funderingspalen, onderzoek ligging onderzijde stalen damwanden
geleidbaarheid	elektrische geleiding grond en grondwater	indicatie waterkwaliteit / zoet - zout water grens onderzoek verspreiding verontreiniging
temperatuur	temperatuurmeting op verschillende diepten	warmteoverdracht in de bodem bepaling temperatuurgradiënt
schuifgolfsnelheid (seismisch)	dynamische bodemparameters op verschillende diepten	machinefunderingen, windturbinefunderingen
versnelling	versnellingen op verschillende diepten	heitrillingen / verkeerstrillingen
MIP (membrane interface probe)	verticale verspreiding van vluchtige (gechloreerde) koolwaterstoffen	bestudering zak/drijflagen en/of verontreinigingen met vluchtige (gechloreerde) koolwaterstoffen
ROST (rapid optical screening tool)	verticale verspreiding van (aromatische) koolwaterstoffen	bestudering zak/drijflagen en/of verontreinigingen met (aromatische) koolwaterstoffen

Waterspanningssonderingen

Naast registratie van conusweerstand en plaatselijke wrijvingsweerstand wordt bij een groot deel van de sonderingen waterspanning geregistreerd. Een waterspanningsconus (*piëzo-conus*) is voorzien van een ingebouwde druksensor, waarmee de waterdruk tijdens het sonderen wordt gemeten. Een filter voorkomt het contact van grond met de druksensor. De waterdruk kan op drie locaties in de conus worden gemeten waarbij de posities u_1 en u_2 veelvuldig voorkomen (zie figuur 1). Positie u_3 wordt zelden toegepast. Slechts een kleine hoeveelheid water ($0,2 \text{ mm}^3$) is nodig om een nauwkeurige waterdruk te meten. Het meetbereik kan worden gekozen afhankelijk van de te verwachten wateroverspanning. In stijve kleien kan deze oplopen tot meer dan 3 MPa.



Figuur 1 Principe piëzo-conus

Uitvoeringswijze

Om een juiste meting van de waterspanning te verkrijgen, dient het gehele meetsysteem volledig ontluicht en gevuld te zijn met een weinig samendrukbare vloeistof. Om te voorkomen dat de vloeistof tijdens het sonderen in de onverzadigde lagen boven de grondwaterstand wegvloeit zijn een juiste keuze van vloeistof, het gebruik van een rubber membraam, een goede uitvoering en de poriëngrootte van het filter belangrijk.

CONTINU ELEKTRISCH SONDEREN

Indien het grondwater relatief ondiep aanwezig is, wordt bij voorkeur voorgeboord tot het niveau van de grondwaterspiegel teneinde luchttoetreding te voorkomen. Hiermee wordt ook de kans op beschadiging en in de grond achterblijven van het rubber membraan verkleind.

Interpretatie

De resultaten van de piëzo-sonderingen bestaan uit de gemeten conusweerstand (q_c), de plaatselijke wrijvingsweerstand (f_s), het wrijvingsgetal (R_f), de gemeten waterspanning (u_1 of u_2 respectievelijk in de punt en achter de punt) en de wateroverspanningindex B_q .

De resultaten van de waterspanningsmeting tijdens het sonderen vormen uit grondmechanisch en geohydrologisch oogpunt een belangrijke extra informatiebron voor de interpretatie van de bodemopbouw. Door combinatie van de meting van de conusweerstand en de waterspanning, bij voorkeur samen met de plaatselijke wrijvingsweerstand, wordt optimaal gebruik gemaakt van de sondeertechniek en kan het benodigde aanvullend grondonderzoek efficiënter worden gepland.

Bij de interpretatie speelt met name de wateroverspanning een rol, dat wil zeggen de verhoging van de waterspanning die door het indrukken van de conus ontstaan is. Dunne cohesieve laagjes in een zandpakket en dunne zandlaagjes in een kleipakket, die in de conusweerstand en de plaatselijke wrijvingsweerstand door uitmiddeling niet of slecht zichtbaar zijn, kunnen goed worden gedetecteerd aan de hand van de water(over)spanningen, die door het sonderen ontstaan. Deze laagjes kunnen van groot belang zijn voor het zettingsgedrag van funderingen en voor de verticale (on)doorlatendheid van de grond.

Verder kunnen met de piëzo-conus, met name via de u_1 -meting, sterk gelaagde structuren van zand en klei onderscheiden worden van homogene lagen hetgeen op basis van conusweerstand en plaatselijke wrijving in de meeste gevallen niet lukt. Aangetoond is dat het detectievermogen van de u_1 -meting veel hoger is dan van de u_2 -meting.

Wateroverspanningindex B_q

Met de wateroverspanningindex B_q kan een meer nauwkeurige classificatie van de grondsoort worden verkregen. Deze index is de verhouding van de wateroverspanning en de netto conusweerstand q_{net} , zijnde de gemeten conusweerstand q_c gecorrigeerd voor de waterspanning op het netto oppervlak van de sondeerconus, rekeninghoudend met de heersende effectieve verticale spanning op het betreffende niveau. De wateroverspanningindex B_q wordt als volgt berekend:

$$B_q = \beta \cdot (u_1 - u_0) / q_{net} \quad \text{of} \quad B_q = (u_2 - u_0) / q_{net}$$

waarin:

- β = factor voor de verschillende grondsoorten voor omrekening van u_1 naar u_2 ; standaard wordt hiervoor aangehouden 0,8, zijnde normaal geconsolideerde kleien (zie hierna volgende tabel);
- q_{net} = $q_t - \sigma_{v0}$ = netto conusweerstand;
- q_t = $q_c + (1-a) \cdot \{\beta \cdot (u_1 - u_0) + u_0\}$ voor een filter in de conuspunt;
- q_t = $q_c + (1-a) \cdot u_2$ voor een filter direct achter de conuspunt;
- σ_{v0} = de verticale grondspanning; standaard wordt hierbij uitgegaan van een gemiddeld volumiek gewicht van de bodemlagen van 14 kN/m^3 en een grondwaterstand op 1 m beneden maaiveld;
- a = netto oppervlakteverhoudingscoëfficiënt van de conus i.v.m. de spleet achter de conuspunt;
- u_1 = de gemeten waterdruk bij een filterplaatsing *in* de punt;
- u_2 = de gemeten waterdruk bij een filterplaatsing *achter* de punt;
- u_0 = de hydrostatische stijghoogte; standaard wordt hiervoor in de berekening een niveau uitgegaan van 1 m beneden maaiveld.

Voor andere grondsoorten zijn de β -factoren in onderstaande tabel gegeven.

Grond gedrag	β -factor
Normaal geconsolideerde klei	0,6 - 0,8
Licht overgeconsolideerde klei	0,5 - 0,7
Sterk overgeconsolideerde klei	0 ¹⁾ - 0,3
Leem samendrukbaar	0,5 - 0,6
Leem, vast en dillatant gedrag	0 ¹⁾ - 0,2
Zand siltig, los gepakt	0,2 - 0,4

¹⁾ Bij meting van de waterspanning achter de conuspunt worden in bepaalde gevallen negatieve waterspanningen gemeten. Deze waarden geven nauwelijks een indicatie van de doorlatendheid, doch alleen over het materiaalgedrag.

Dissipatietest

Het is ook mogelijk het sondeerproces op een bepaalde diepte tijdelijk te stoppen en de afname van de wateroverspanning (dissipatie) als functie van de tijd te registreren. Daarna kan het sondeerproces worden voortgezet.

In doorlatende gronden geeft de dissipatietest een goed beeld van de heersende hydrostatische waterspanning en daarmee van de stijghoogte. Het betreft slechts een indicatie aangezien de meetnauwkeurigheid beperkt is. Door het uitvoeren van meerdere metingen in een grondlaag en de gemiddelde waarde van de stijghoogte te bepalen kan een beduidend hogere nauwkeurigheid worden behaald. Ervaring leert dat de onnauwkeurigheid circa 0,5 m bedraagt. Voor een meer nauwkeurige bepaling en de optredende fluctuaties zijn peilbuismetingen over een langere waarnemingsperiode nodig, afhankelijk van het doel.

In slecht doorlatende, cohesieve lagen kan met behulp van de dissipatietest een indicatie van de consolidatiecoëfficiënt en daarmee van de verticale (on)doorlatendheid worden verkregen. Hierbij dient de dissipatietest te worden voortgezet totdat de wateroverspanning tenminste met 50 % is afgenomen. In de praktijk komt dat in zand overeen met circa 1/2 uur à 3/4 uur. Uit berekeningen en kwalitatieve vergelijking van de metingen wordt inzicht verkregen in het consolidatiegedrag van de grond. Voor het vaststellen van de heersende hydrostatische waterspanning in kleilagen is de dissipatietest in de meeste gevallen weinig geschikt, vanwege de benodigde lange aanpassingstijd en de onnauwkeurigheid.

Klassenindeling EN-ISO 22476-1

Voorafgaand aan de uitvoering diende een keuze te worden gemaakt binnen welke kwaliteitsklasse met bijbehorende toelaatbare meetonzekerheid het werk minimaal uitgevoerd moet worden. De klassenindeling heeft voornamelijk betrekking op de nauwkeurigheid van de gemeten parameters.

Door invoering van de Eurocode is op Europees niveau de internationale sondeernorm EN-ISO 22476-1 "Electrical cone and piezocone testing" ontwikkeld, welke de oorspronkelijke NEN 5140 heeft vervangen. De nieuwe elektrische sondeernorm **EN-ISO 22476-1** is in opzet vergelijkbaar met de oude Nederlandse norm NEN 5140 voor elektrische sonderingen. Een verschil tussen norm **EN-ISO 22476-1** met NEN 5140 is dat in de nieuwe norm de nauwkeurigheid van de meetresultaten wordt gekoppeld aan het toepassingsgebied met bijbehorend bodemkenmerken / geschiktheid voor interpretatie en afleiding van bodemparameters. Verder is de meting van de waterspanning genormeerd.

In de Europese tabel van sondeerklassen worden de sondeerklassen ingedeeld naar de toepassing van de sondering, zie onderstaande tabel.

CONTINU ELEKTRISCH SONDEREN

Toepassing Klasse	Test type	Gemeten parameter	Toegestane minimum nauwkeurigheid ^a	Maximum lengte tussen metingen	Gebruik	
					Grondsoort ^b	Interpretatie ^c
1	TE 2	Conus weerstand Mantel wrijving Waterspanning Helling Sondeerlengte	35 kPa of 5 % 5 kPa of 10 % 10kPa of 2 % 2° 0,1 m of 1%	20 mm	A	G, H
2	TE1 TE2	Conus weerstand Mantel wrijving Waterspanning Helling Sondeerlengte	100 kPa of 5 % 15 kPa of 15 % 25 kPa of 3 % 2° 0,1 m of 1 %	20 mm	A B C D	G, H* G, H G, H G, H
3	TE1 TE2	Conus weerstand Mantel wrijving Waterspanning ^d Helling Sondeerlengte	200 kPa of 5 % 25 kPa of 15 % 50 kPa of 5 % 5° 0,2 m of 2 %	50 mm	A B C D	G G, H* G, H G, H
4	TE1	Conus weerstand Mantel wrijving Sondeerlengte	500 kPa of 5 % 50 kPa of 20 % 0,2 m of 1 %	50 mm	A B C D	G* G* G* G*
NOOT 1 Richtlijnen voor gebruik van Tabel 2 zijn gegeven in bijlage F.						
NOOT 2 Voor uiterst slappe gronden maken soms nog hogere nauwkeurigheden noodzakelijk.						
^a De toegestane minimum nauwkeurigheid van de gemeten parameters is de grootste van de twee genoemde. De relatieve nauwkeurigheid geldt voor de gemeten waarde en niet voor het meetbereik. ^b Volgens ISO 14688-2: A Homogene gronden bestaande uit zeer slappe tot stijve kleien (en silt) ($q_c < 3$ MPa) B Gemengde bodemprofielen met slappe tot stijve kleien ($q_c \leq 3$ MPa) en matig vaste tot vaste zanden (conusweerstand $5 \text{ MPa} \leq q_c < 10 \text{ MPa}$) C Gemengde bodemprofielen met stijve kleien (conusweerstand $1,5 \text{ MPa} \leq q_c < 3 \text{ MPa}$) en zeer dichte zanden ($q_c > 20 \text{ MPa}$) D Zeer stijve tot harde kleien ($q_c \geq 3 \text{ MPa}$) en zeer vaste grove gronden ($q_c \geq 20 \text{ MPa}$) ^c G vaststelling bodemprofiel en bepaling van grondsoort met een laag niveau van onzekerheid G* indicatieve vaststelling bodemprofiel en bepaling van grondsoort met een hoog niveau van onzekerheid H interpretatie met betrekking tot ontwerp met een laag niveau van onzekerheid H* interpretatie met betrekking tot ontwerp met een hoog niveau van onzekerheid ^d Waterspanning kan alleen worden gemeten als TE2 wordt toegepast.						

Voor projecten, waarbij parameters op basis van Tabel 2.b NEN 9997-1 worden afgeleid, is een hoge nauwkeurigheidsklasse gewenst. Het is echter in een bodemgesteldheid met zowel zeer slappe grondlagen als zeer vaste zandlagen met hoge conusweerstand onmogelijk om aan de eisen van toepassing klasse 1 voldoen zoals ook blijkt uit de bovenstaande tabel. Het bij Fugro gehanteerde meetsysteem voor sonderen is bijzonder nauwkeurig door toepassing van digitale conussen, strikte kwaliteitscontroles en calibraties. In de praktijk is gebleken dat standaard Fugro sonderingen in de nieuwe norm voor het overgrote deel (>95%) in toepassingsklasse 2 vallen. Sonderingen volgens toepassingsklasse 3 in de nieuwe norm zijn vergelijkbaar met sonderingen volgens klasse 2 van de oude NEN 5140.

Toepassingklasse 1 sonderingen kunnen alleen met speciale gevoelige conussen met een beperkt meetbereik en een kleibodemprofiel met $q_c < 3$ MPa worden bereikt. In bodemprofielen waarin zowel zeer slappe lagen als zeer vaste lagen voorkomen kan de hoogste meetnauwkeurigheid van klasse 1 enigszins worden benaderd door aanvullende maatregelen en procedures. Toepassingklasse 2 sonderingen kunnen in bodemprofielen, waarin zowel zeer slappe lagen als zeer vaste lagen voorkomen, alleen worden verkregen door toepassing van digitale conussen met regelmatige calibraties, aanvullende uitvoeringsmaatregelen en kwaliteitscontroles. Toepassingsklasse 1 is in deze bodem niet haalbaar. De enige praktische indicatie over de bereikte sondeerklasse is controle van calibraties en 0-puntsverlopen tussen het begin en eind van de sondering.

In de praktijk komt het af en toe voor dat sonderingen worden uitgevoerd, waarbij door de opdrachtgever is aangegeven dat de maaiveldhoogte niet ten opzichte van een vast referentiepeil (NAP) hoeft te worden vastgelegd. Deze sonderingen voldoen derhalve op dit punt niet aan **EN-ISO 22476-1**.

Klassenindeling NEN 5140

De norm NEN 5140 ging uit van vier kwaliteitsklassen. Voorafgaand aan de uitvoering diende een keuze te worden gemaakt binnen welke kwaliteitsklasse met bijbehorende toelaatbare meetonzekerheid het werk minimaal uitgevoerd moet worden. De klassenindeling heeft voornamelijk betrekking op de nauwkeurigheid van de gemeten conusweerstand, plaatselijke wrijvingsweerstand en diepte, zoals blijkt uit de onderstaande tabel.

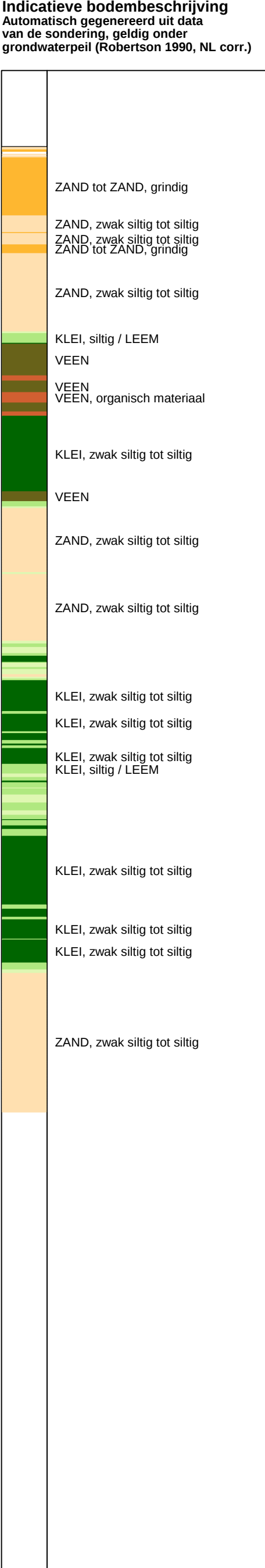
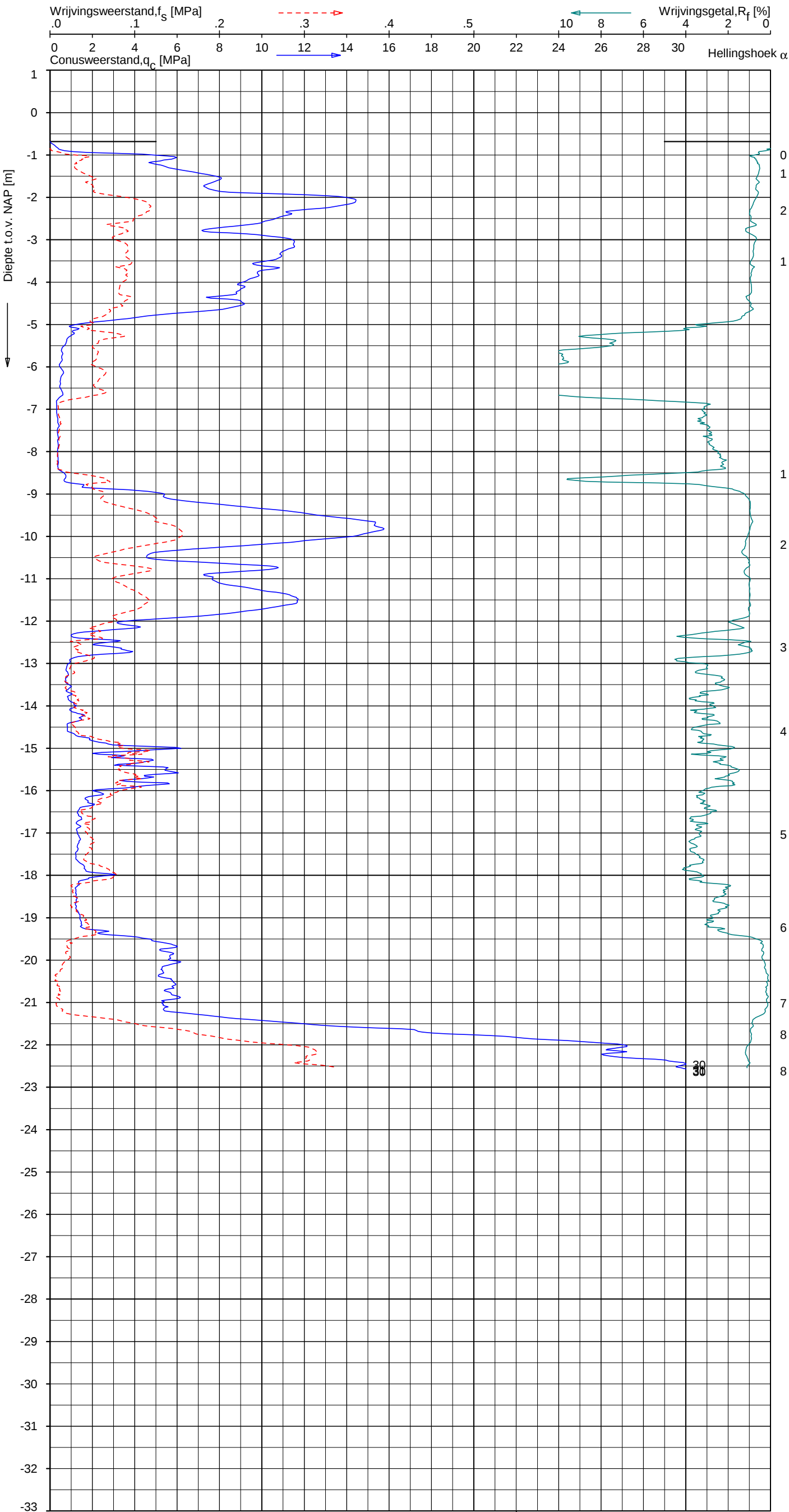
klasse	Meetgrootheid	toelaatbare meetonzekerheid	meetinterval
1	Conusweerstand	0,05 MPa of 3%	20 mm
	Plaatselijke wrijvingsweerstand	0,01 MPa of 10%	
	Helling	2°	
	Sondeerdiepte	0,2 m of 1 %	
2	Conusweerstand	0,25 MPa of 5%	50 mm
	Plaatselijke wrijvingsweerstand	0,05 MPa of 15%	
	Helling	2°	
	Sondeerdiepte	0,2 m of 2 %	
3	Conusweerstand	0,5 MPa of 5%	100 mm
	Plaatselijke wrijvingsweerstand	0,05 MPa of 20%	
	Helling	5°	
	Sondeerdiepte	0,2 m of 2 %	
4	Conusweerstand	0,5 MPa of 5%	100 mm
	Plaatselijke wrijvingsweerstand	0,05 MPa of 20%	
	Sondeerlengte	0,1 m of 1%	
Opmerking: De toelaatbare meetonzekerheid is de grotere waarde van de absolute meetonzekerheid en de relatieve meetonzekerheid. De relatieve meetonzekerheid geldt voor de meetwaarde en niet voor het meetbereik.			

Vergelijking van de gespecificeerde nauwkeurigheden van de NEN 5140 en NEN-EN-ISO 22476-1 laat zien dat de nauwkeurigheid van de meest in NL gehanteerde sondeerklasse 2 volgens NEN 5140 iets hoger ligt dan die van de toepassingklasse 3 volgens de ISO norm.

UNIPLOT 05.27.nl / QcFClass-R3.cmd / 2015-05-18 12:11:20

1015-0192-000

DKMC1 - 1



Opg. : GEV/FAS d.d. 08-mei-2015 Coord.: X=125860.6 m Y= 482625.0 m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
Get. : VALKF d.d. 18-mei-2015 MV = NAP -0.68 m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2042 Toepassingsklasse 2. Test type TE1
Conustype: $A_c = 1510 \text{ mm}^2$; $A_s = 19895 \text{ mm}^2$

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

TRILLINGSMETING TE DIEMEN

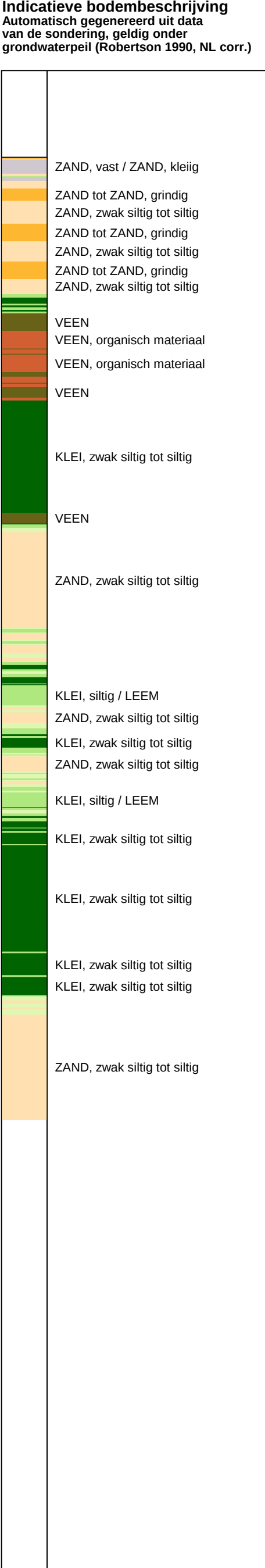
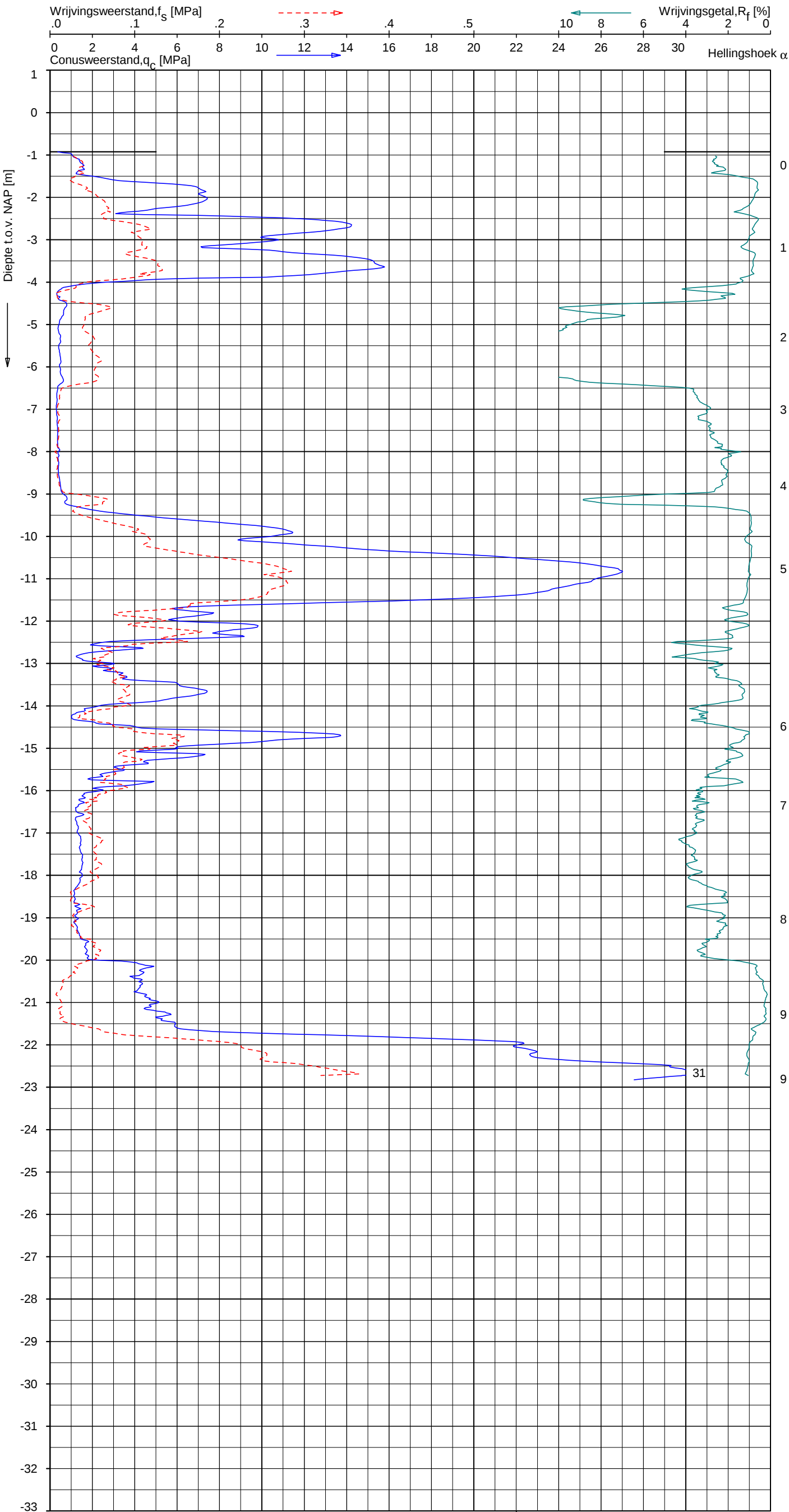
Opdr. 1015-0192-000
Sond. DKMC1



UNIPLOT 05.27.nl / QofSClass-R3.cmd / 2015-05-18 12:11:23

1015-0192-000

DKMC2 - 1



Trillingsintensiteiten worden beoordeeld en getoetst aan de vigerende SBR meet- en beoordelingsrichtlijnen. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie. Door de Stichting Bouw Research zijn drie richtlijnen uitgegeven:

- Richtlijn A “Schade aan gebouwen”
- Richtlijn B “Hinder voor personen in gebouwen”
- Richtlijn C “Storing aan apparatuur”

Trillingen van objecten en gebouwen worden getoetst aan de SBR richtlijn A. De beoordeling van de invloed van de trillingssterkte valt in het frequentie bereik van 1 tot 100 Hz.

Gesteld is dat de kans op constructieve schade aan gebouwen (of onderdelen ervan) aanvaardbaar klein is indien de gecorrigeerde snelheid van de meting (v_d) kleiner is dan de rekenwaarde van de grenswaarde (v_{reken}).

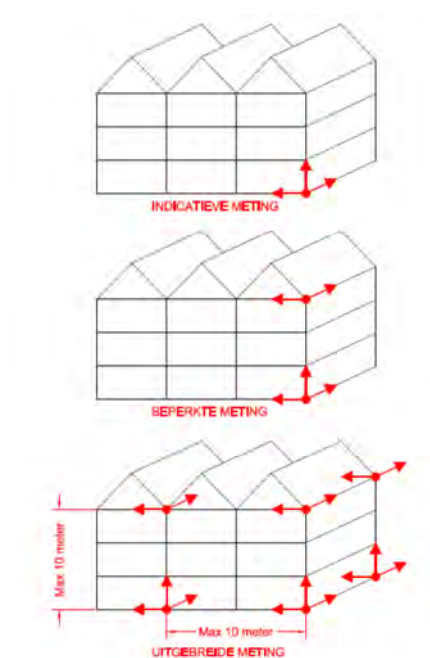
De kans op constructieve schade is aanvaardbaar klein als geldt:

$$V_{d \text{ gemeten}} < V_{\text{reken SBR}}$$

Soort meting

SBR Richtlijn A maakt onderscheid tussen een indicatieve, een beperkte en een uitgebreide meting. Deze is afhankelijk van de uitgebreidheid van de meting (het aantal meetpuntlocaties en meetrichtingen).

- Een indicatieve meting bestaat uit 1 meetpunt aan de draagconstructie, per object
- Een beperkte meting bevat 1 meetpunt aan de draagconstructie en 1 meetpunt op de hoogste verdieping, per object
- een uitgebreide meting bestaat uit meerdere meetpunten verspreid over de draagconstructie en de verdiepingen (op “stijve” locaties), per object.



Afhankelijk van het type meting wordt een veiligheidsfactor toegepast.

Veiligheidsfactor voor type meting

Soort	f_{meting}
Indicatief	1,6
Beperkt	1,4
Uitgebreid	1,0

$$V_d \text{ gemeten} = V_{\text{top gemeten}} * f_{\text{meting}}$$

Grenswaarde en V_{reken}

De grenswaarde voor een trilling wordt uitgedrukt in mm/s en zijn afhankelijk van de soort trillingsbron tezamen met de categorie indeling van het object.

De objecten en gebouwen zijn ingedeeld in drie verschillende categorieën. Voor objecten, gebouwen en funderingen is de $V_{\text{grenswaarde}}$ afhankelijk van de trillingsfrequentie. De onderverdeling in de categorieën is als volgt:

1. In goede staat verkerende onderdelen (van de draagconstructie) van een gebouw, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout
2. In goede staat verkerende onderdelen (van de draagconstructie) van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk of uit brosse steenachtige materialen
3. Onderdelen van oude en/ of monumentale panden met grote cultuurhistorische waarde en/ of in slechte staat verkerende gebouwen bestaande uit metselwerk

SBR richtlijn A maakt onderscheid in verschillende type trillingsbronnen variërend tussen incidenteel voorkomende kortdurende trillingen, herhaald voorkomende kortdurende trillingen of continue voorkomende trillingen. Afhankelijk van het soort trillingsbron wordt de volgende bronfactor gehanteerd.

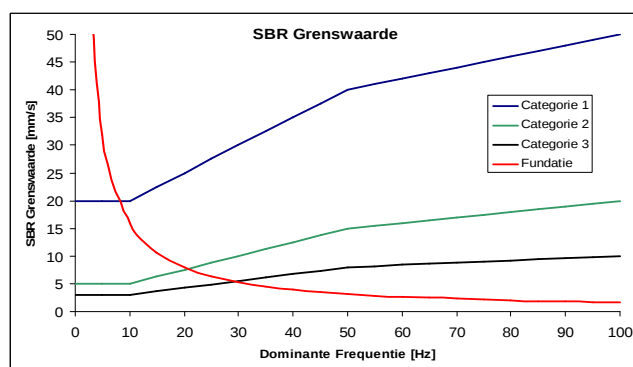
Partiële veiligheidsfactor voor type trillingsbron

Soort	f_{Bron}	bron
Kortdurend	1,0	Eenmalig explosies
Herhaald kortdurend	1,5	Heiwerk Verkeer Grondwerk
Continu	2,5	Trillen Machines

In de onderstaande tabel zijn de grenswaarden geldig van 0 Hz t/m 10 Hz aangegeven. De grenswaarden zijn aangegeven per categorie en type trilling.

		Kortdurend trillingen			Herhaald kortdurende trillingen			Continu trillingen		
		1.0			1.5			2.5		
		Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 1	Cat 2	Cat 3
Indicatief	1.6	12.5	3.1	1.9	8.3	2.1	1.3	5.0	1.3	0.8
Beperkt	1.4	14.3	3.6	2.1	9.5	2.4	1.4	5.7	1.4	0.9
Uitgebreid	1.0	20.0	5.0	3.0	13.3	3.3	2.0	8.0	2.0	1.2
hoge verdieping		40.0	15.0	8.0	26.7	10.0	5.3	16.0	6.0	3.2

In onderstaande voorbeeldgrafiek wordt de relatie tussen de karakteristieke waarden van de grenswaarde en frequentie op de draagconstructie en fundering grafisch weergegeven. Indien de meetwaarden boven de getrokken lijn liggen is er sprake van overschrijding van de grenswaarde.



De rekenwaarde van de grenswaarde (v_{reken}) is de karakteristieke grenswaarde gedeeld door de bron factor (f_{Bron}).

$$V_{reken\ SBR} = \frac{V_{grenswaarde}}{f_{Bron}}$$

TOELICHTING MODELLERING TRILLINGEN

Modellering conform CUR 166

De modellering en het opstellen van de trillingsrisicoanalyse vindt plaats op basis van CUR - publicatie 166 '*Damwandconstructies*'. In genoemde CUR - publicatie wordt onderscheid gemaakt in verschillende bodemkarakteristieken en verschillende palen en planken alsmede de verschillende wijzen van inbrengen.

Wanneer een paal of plank in een grondmassief doordringt, veroorzaakt deze langs en aan de onderzijde van de paal plastische en elastische vervormingen. Door de snelle introductie van deze vervormingen ontstaan golfverschijnselen in de grond. De plastische golfverschijnselen blijven beperkt tot een gebied rondom de paal/plankpunt met een doorsnede van ongeveer 1,5 tot 2,5 maal de equivalente paal/plankdiameter.

Voor de trillingen in de omgeving zijn alleen de elastische golven van belang. Wanneer de paal/plank enige meters diep in de grond is doorgedrongen, ontstaan trillingsgolven die zich in alle richtingen (kunnen) voortplanten. Komen deze golven aan de oppervlakte, bij een laagovergang of bij een bouwwerk, dan vindt hier reflectie en omzetting van de trillingsgolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat. Gezien de complexiteit van dit interferentiepatroon kan de bodembeweging slechts in benaderende zin beschreven worden.

De factoren die invloed hebben op de intensiteit van de trillingen die door installatie van de palen / planken aan de bodem worden afgegeven zijn:

- eigenschappen van de ondergrond;
- afmetingen van de paal/plank;
- energie / slagkracht die nodig is om de paal / plank op diepte te krijgen.

Bronsterkte

CUR 166 hanteert voor Nederland enkele karakteristieke bodemprofielen. Voor deze karakteristieke bodemprofielen is voor de verschillende wijze van inbrengen van palen en planken, een bronintensiteit gegeven op een referentie afstand van 5 m tot de bron. De bronsterkten zijn gerelateerd aan een lognormaal verdeling. In de analyse wordt gebruik gemaakt van een normale verdeling. Op basis van praktijkervaringen, waarbij prognoses met metingen vergeleken zijn, is gebleken dat prognose waarden, waarbij een normale verdeling is gehanteerd, beter aansluit op de meetwaarden.

Voor de karakteristieke bodemprofielen zijn indicatiewaarden gegeven voor de demping, de referentiesnelheid (u_0) op 5 m en de variatiecoëfficiënt van de trillingsbron voor het in- en uittrillen van damwandplanken of het heien van stalen buispalen. Voor de meeste situaties zijn geen indicatiewaarden gegeven en dient de referentiesnelheid geschat te worden. Voor het trillingsniveau zijn het noodzakelijke inheinniveau en de grondopbouw van grotere invloed dan het paal/planktype of –lengte. Deze factoren worden in rekening gebracht.

TOELICHTING MODELLERING TRILLINGEN

Bepaling bronsterkte heien

De referentie trillingsintensiteit wordt bepaald met een empirische formule, welke afhankelijk is van het vermogen van het heiblok:

$$v_{0,(x=5m)} = u_0 \cdot \sqrt{\psi * E}$$

Waarin:

$v_{0,(x=5m)}$	trillingsnelheid op referentieafstand van 5 meter	[mm/s];
u_0	referentie trillingsnelheid	[mm/s];
E	inhei-energieniveau	[Nm];
ψ	stootrendement	[-].

Op basis van deze relatie is de bronsterkte van de trillingssnelheid bepaald.

Bepaling bronsterkte trillen

De bronsterkte van het intrillen van stalen damwandelementen wordt bepaald met de volgende empirische relatie:

$$v_0(x = 5m) = u_0 + 0,002(F - 350)$$

Waarin:

v_0	bronsterkte van de trillingsintensiteit op 5 m afstand van de bron	[mm/s];
u_0	referentie trillingsnelheid op 5 m afstand	[mm/s];
F	slagkracht trilblok	[kN].

Bij uittrillen wordt voor de referentiesnelheid op 5 m afstand 1,5 maal de waarde voor intrillen gehanteerd.

Trillingsoverdracht in de ondergrond

Tijdens de installatie van de palen / planken wordt de omringende grond in beweging gebracht. Hierdoor ontstaan trillingen. Deze trillingen planten zich als golven door de ondergrond voort. Te onderscheiden zijn compressie-, afschuif- en Rayleigh-golven.

Bij compressiegolven (drukgolven) bewegen de gronddeeltjes zich in dezelfde richting als de voortplantingsrichting van de drukgolf. Ten gevolge van de afschuifgolf worden de gronddeeltjes zijdelings bewogen, loodrecht op de voortplantingsrichting van de golf. Aangezien zowel de compressie- als afschuifgolven zich bolvormig voortplanten wordt de trillingsenergie over een steeds groter volume verdeeld en zal dus vrij snel afnemen.

Ten gevolge van de afschuifgolven en compressiegolven aan het maaiveld ontstaan zogenaamde oppervlaktegolven (Rayleigh-golven). Deze golven nemen het grootste deel van de totale trillingsenergiebron op en kenmerken zich door een geringe dieptewerking, waardoor deze golven op grotere afstand van de bron nog steeds een behoorlijke trillingssterkte kunnen bezitten.

De afname van de amplitude van de golven wordt veroorzaakt door geometrische demping. Tevens vertoont de grond door inwendige wrijving een dissipatief gedrag (energieverlies) bij vervormingen, wat materiaaldemping wordt genoemd. Dit energieverlies wordt gemodelleerd door hysteretische demping.

TOELICHTING MODELLERING TRILLINGEN

Indien de geometrische verzwakking en de materiaaldemping worden samengenomen kan met onderstaande relatie de amplitude van een trilling op een afstand x van de bron bepaald worden:

$$v(x) = v_0 \sqrt{\frac{x_0}{x}} e^{-\alpha(x-x_0)}$$

Waarin:

$v(x)$	trillingssnelheid op afstand x van de bron [mm/s];
v_0	bronsterkte van de trillingsintensiteit op 5 m afstand van de bron [mm/s];
x_0	referentieafstand van 5 m tot de bron [m];
x	afstand tot de bron [m];
α	karakteristieke dempingsconstante ten gevolge van materiaaldemping [m^{-1}].

Verwijzend naar CUR-166 wordt in de tabellen een indicatieve waarde voor de dempingsconstante α gepresenteerd van 0,00 à 0,03 m^{-1} . Afhankelijk van de grootte van de golfsnelheden (oppervlakte golf) is een nadere indicatie voor de karakteristieke bodemdemping α te bepalen met:

$$\alpha = \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \zeta}{c}$$

Waarin:

f	dominante frequentie [Hz];
ζ	dempingsmaat als functie van de vervormingshoek [-];
c	voortplantingssnelheid van de trilling in de bodem [m/s].

Ter indicatie zijn in CUR 166 voor zand snelheden van 100 tot 200 m/s, voor klei snelheden van 50 tot 100 m/s en voor veen snelheden van 75 tot 125 m/s aangegeven.

Trillingsoverdracht naar bebouwing

De optredende trillingen in de ondergrond worden overgedragen naar de fundering van de nabij gelegen gebouwen. De overdracht vindt plaats op verschillende manieren, zoals:

- overdracht van de trillingen in het zandpakket via de fundering;
- overdracht van de oppervlaktegolven direct onder het maaiveld op de funderingsconstructie.

Bij de overdracht van trillingen van de bodem naar de funderingselementen en de draagconstructie treedt een zekere mate van demping op. Voor de overdrachtsfunctie van de trillingsintensiteit van de ondergrond naar de fundering en draagconstructie is een schatting gemaakt, gebaseerd op CUR 166.

Trillingsoverdracht naar vloeren

Voor het bepalen van de hinderbeleving en bij beoordeling van trillingsgevoelige apparatuur zijn de trillingsintensiteiten op de vloeren van belang. Bij de overdracht van de trillingsintensiteit aan de draagconstructie naar die op vloeren en ondersteunende onderdelen treedt enige opslinger effect op. Het opslinger effect wordt met factoren in rekening gebracht. De maximale trillingsintensiteit in het midden van de vloer volgt door de trillingsintensiteit aan de draagconstructie te vermenigvuldigen met dynamische vergrotingsfactoren C_{fc} . De vergrotingsfactoren berusten grotendeels op praktijkervaringen.

TOELICHTING MODELLERING TRILLINGEN

Bij trillingshinder zijn de maximale voortschrijdende effectieve waarde ($v_{\text{eff,max}}$) en de, per 30 sec, periodieke waarde (v_{per}) op vloeren van belang.

Bepaling $v_{\text{eff,max}}$

De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheden op de vloeren wordt bepaald voor de toetsingsprocedure voor hinder voor personen in gebouwen. De effectieve waarde van de trillingssnelheid is dimensieloos. De waarde wordt bepaald door een omrekening van de maximale trillingssnelheid naar een gewogen momentane waarde voor de trillingssnelheid. Uit de gewogen momentane waarde kan de voortschrijdende effectieve waarde worden bepaald.

Binnen de gegeven beoordelingsperiode, dag, avond of nacht, is de maximale waarde $v_{\text{eff,max}}$ te bepalen als het maximum van de grootste effectieve waarden in de betreffende beoordelingsperiode. CUR-166 geeft als richtlijn voor het uit te voeren procédé, dat:

$$v_{\text{eff,max}} \quad [-] \quad = \quad 0,42 \text{ à } 0,64 \times v_{\text{piek}} \quad [\text{mm/s}]$$

In geval van trillen van damwanden (continue trillingen) geldt een factor van 0,64. In geval van heien van palen (of passages van verkeer) geldt een factor van 0,42. Bij hinderbeleving is eerder het meest waarschijnlijke trillingsniveau (50% waarde) van toepassing dan de incidentele extreme waarde. Derhalve wordt de factor bij de verwachtingswaarden gebruikt.

Bepaling v_{per}

De effectieve waarde, v_{per} , van de maxima $v_{\text{eff,max}}$, wordt bepaald over het aantal tijdsintervallen van 30 seconden binnen een beoordelingsperiode, dag, avond of nacht [-]. Uit gegeven aantallen per tijdsinterval en de maxima $v_{\text{eff,max}}$, voor ieder tijdsinterval van 30 sec wordt v_{per} bepaald volgens:

$$v_{\text{per}} = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^n v_{\text{eff,max},30,i}^2}$$

Waarin:

N aantal tijdsintervallen van 30 seconden, waarin gemeten is binnen een beoordelingsperiode [-]