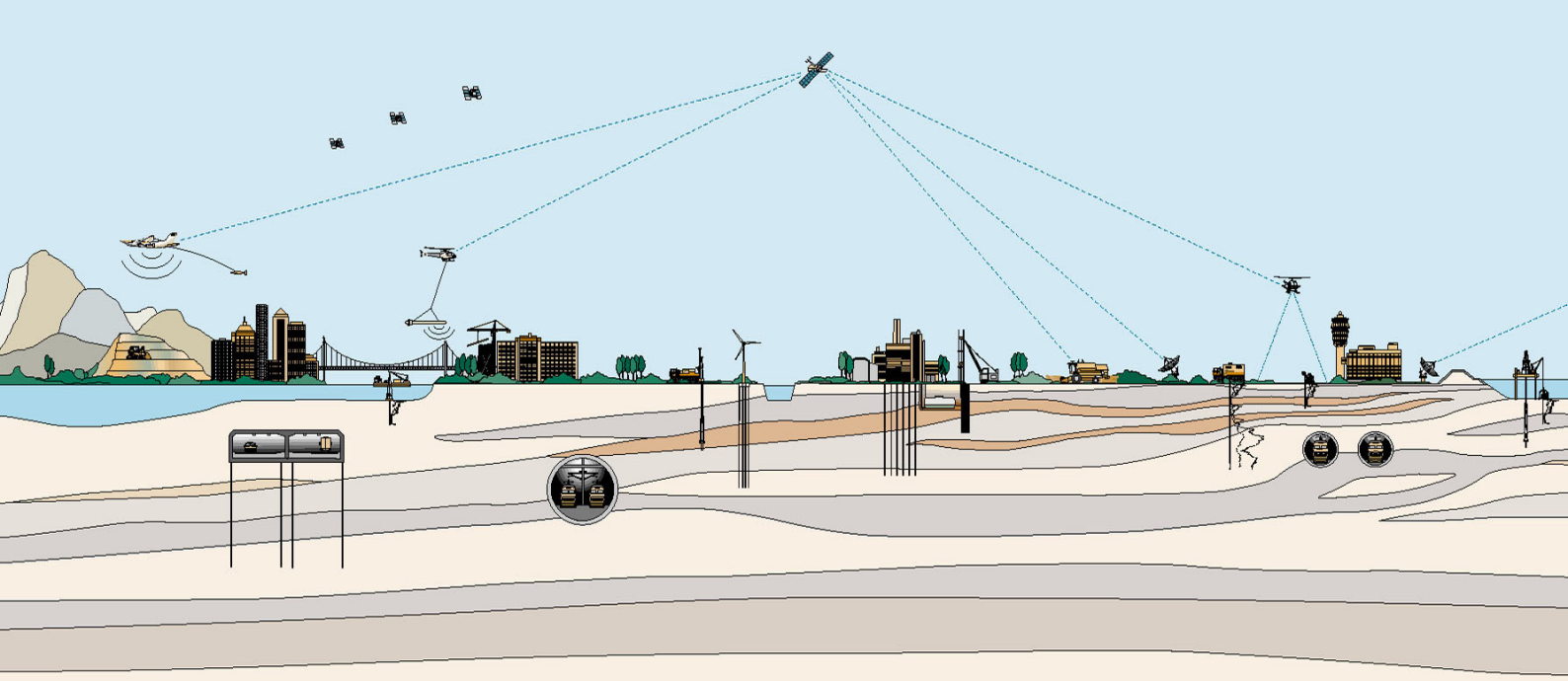
FUGRO GEOSERVICES B.V.
Geo-Consultancy

RAPPORT
betreffende

PLAXIS ANALYSES TRILLINGSCHERM METROPASSAGE NIEUWBOUW EEKHOLT 4 TE DIEMEN

Opdrachtnummer: 1015-0192-001



RAPPORT
betreffende

PLAXIS ANALYSES TRILLINGSCHERM METROPASSAGE NIEUWBOUW EEKHOLT 4 TE DIEMEN

Opdrachtnummer: 1015-0192-001

Opdrachtgever	:	Holland Park BV T.a.v. de heer R.A.G. Deckers Postbus 95241 1090 HE Amsterdam
Datum metingen	:	17 juni 2015
Opgesteld door	:	ir. B. Schoenmaker Adviseur Geotechniek
Projectleider	:	ir A.J. Snethlage Senior Adviseur Geotechniek

VERSIE	DATUM	OMSCHRIJVING WIJZIGING	PARAAF PROJECTLEIDER
1	23 juli 2015	eerste versie	
2			
3			

FILE: 1015-0192-001.R02V01.docxV01

INHOUDSOPGAVE Blz.

1. INLEIDING 1
2. PROJECTBESCHRIJVING 2
   2.1. projectlocatie 2
   2.2. Uitgangspunten 3
3. ANALYSES TRILLINGSOVERDRACHT 5
   3.1. Mechanisme trillingen 5
   3.2. Trillingsreducerende maatregelen 8
4. MODELERING 9
   4.1. Input 9
      4.1.1. PS-scherm 12
   4.2. Resultaten 13
5. CONCLUSIES 16
6. REFERENTIES 17
   6.1. Tekeningen 17

BIJLAGEN Nr.

- Situatie tekening globale ligging trillingscherm R02-1
- Dwarsdoorsnede principe oplossing trillingscherm R02-2
- Representatieve trillingsmeetsignalen, locatie 1 t/m 3 1 t/m 3
- Representatieve sonderingen, locatie 1 en 2, 1015-0192-000-DKMC1 en -DKMC2 4
- Beoordeling van trillingen 5

1. INLEIDING

Opdrachtverstrekking
Op 11 juni 2015 ontving Fugro GeoServices B.V. te Leidschendam van Holland Park B.V. te Diemen de opdracht voor het modelleren van een trillingscherm om op deze manier mogelijke hinderbeleving te reduceren. De analyse is uitgevoerd met eindige elementen software PLAXIS.

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 hinderbeleving voor bewoners in de woningen (SBR-B richtlijn).

Situatie / onderzoek
Op de projectlocatie, op relatief korte afstand tot het (metro)spoor is nieuwbouw gepland van o.a. appartementen (meerdere bouwlagen). Met door Fugro in mei 2015 uitgevoerde trillingsmetingen is geconstateerd dat de door het metroverkeer opgewekte trillingen niet tot schade zullen leiden (verwachting). Hinderbeleving is aannemelijk. Geadviseerd is om de trillingen te reduceren door middel van het aanbrengen van een trillingscherm (PolyStyreen) in de grond tussen het spoorbaanlichaam en de geplande nieuwbouw.

Het aanvullende onderzoek ten behoeve van het trillingscherm is tweeledig:
1) Omdat met de metingen in mei 2015 niet een gehele passage van een metro is "gepakt", zijn op 17 juni aanvullende trillingsmetingen uitgevoerd, waarbij versnellingsopnemers zijn gehanteerd (gerapporteerd met 1015-0192-001.R01). meerdere volledige passages van metro's zijn gemeten;
2) Met behulp van het eindige elementen programma PLAXIS de dimensies bepalen van het trillingscherm.

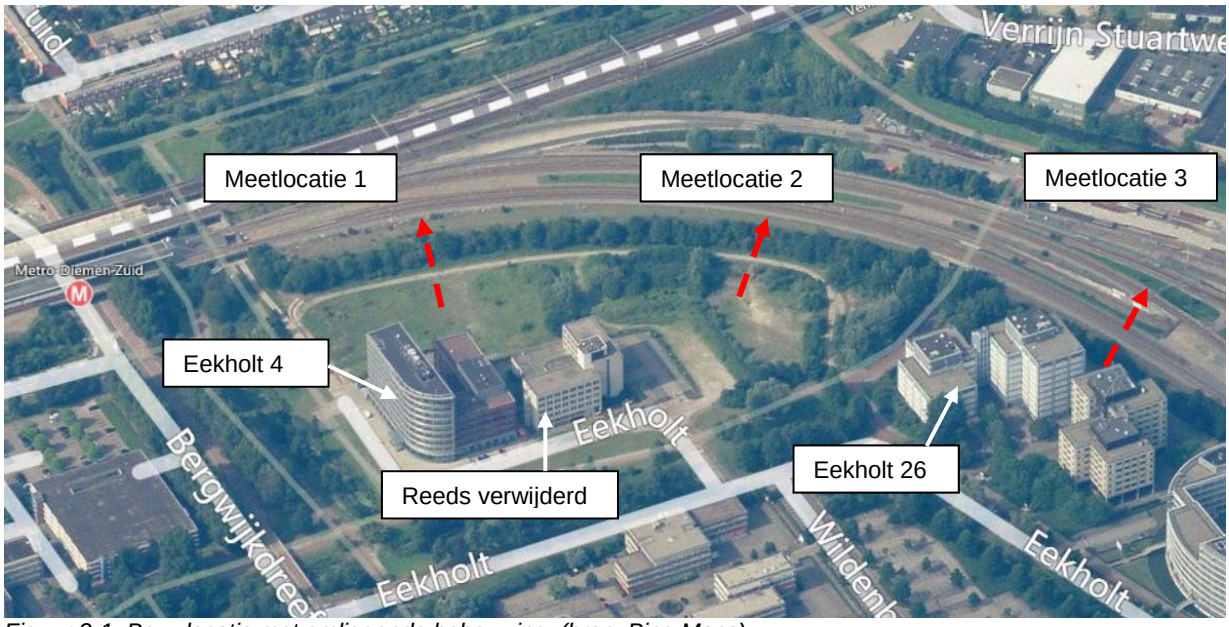
In dit rapport worden de resultaten van de PLAXIS analyses gerapporteerd.

De trillingsmetingen zijn uitgevoerd op 17 juni 2015 op een drietal meetlocaties langs het metro spoor, (locatie 1, nabij Toren 1, locatie 2 nabij Toren 3 en locatie 3 nabij Toren 4).

2. PROJECTBESCHRIJVING

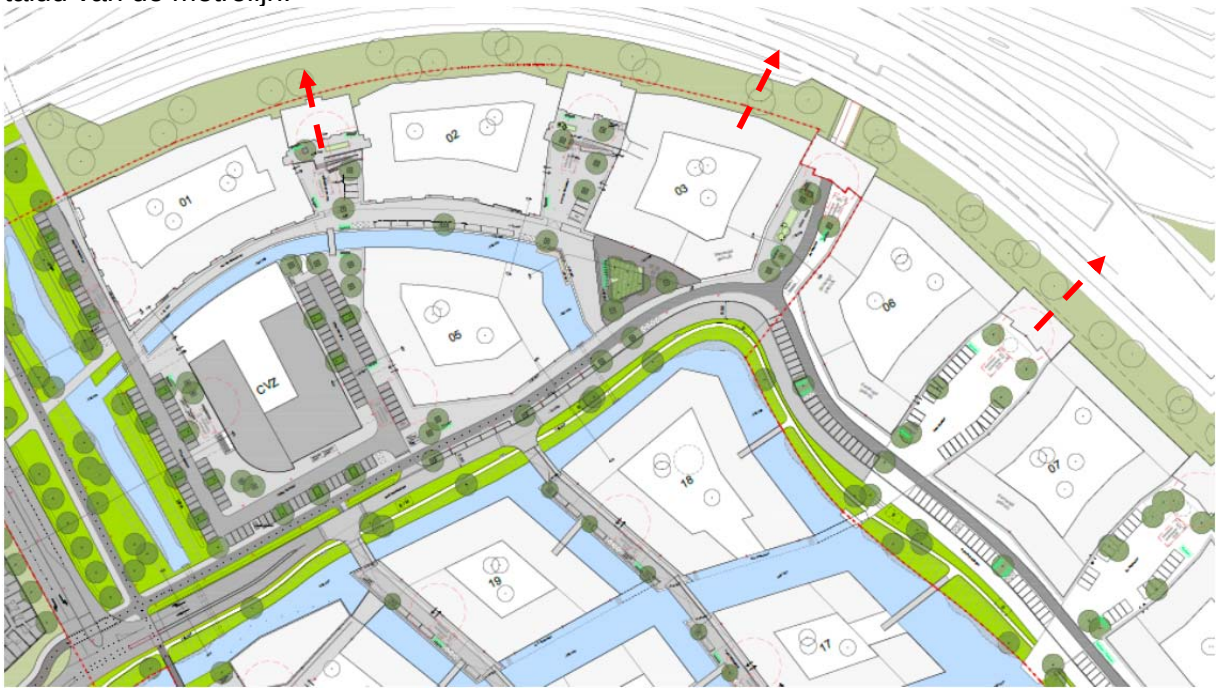
2.1. projectlocatie

De projectlocatie is gelegen aan de Eekholt te Diemen. In figuur 2-1 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

2.2. Uitgangspunten

Bodemgesteldheid

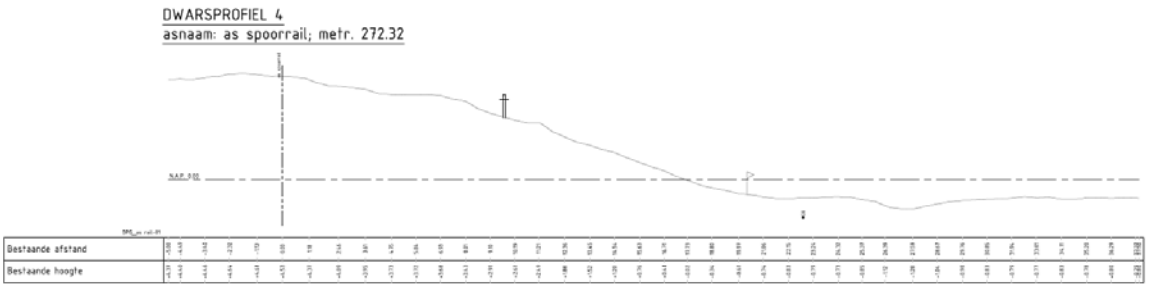
Ten tijde van de trillingsmetingen in mei 2015 zijn trillingsmeters “op diepte” geplaatst. Voorafgaand aan de plaatsing ervan zijn de locaties gesondeerd Dit ter bepaling van het diepte niveau waarop gemeten diende te worden. Op basis van dit geotechnisch onderzoek is DKMC2 als representatieve sondering gebruikt. De bodemgesteldheid kan globaal worden geschematiseerd zoals in tabel 2-1 is weergegeven.

Tabel 2-1 Globale bodemgesteldheid op basis van DKMC2

Grondlaag	Bovenkant laag t.o.v. NAP
ZAND	-0.7
VEEN	-4.0
KLEI	-6.5
VEEN	-9.0
ZAND	-9.3
KLEI, zandig	-12.5
ZAND	-14.5
KLEI, zandig	-16.0
ZAND, vast	-19.0

Dwarsprofiel

In figuur 2-3**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** is het aangeleverde dwarsprofiel weergegeven, dwarsprofiel 4 ligt ter hoogte aan meetlocatie 2 en is gebruikt voor de modellering.



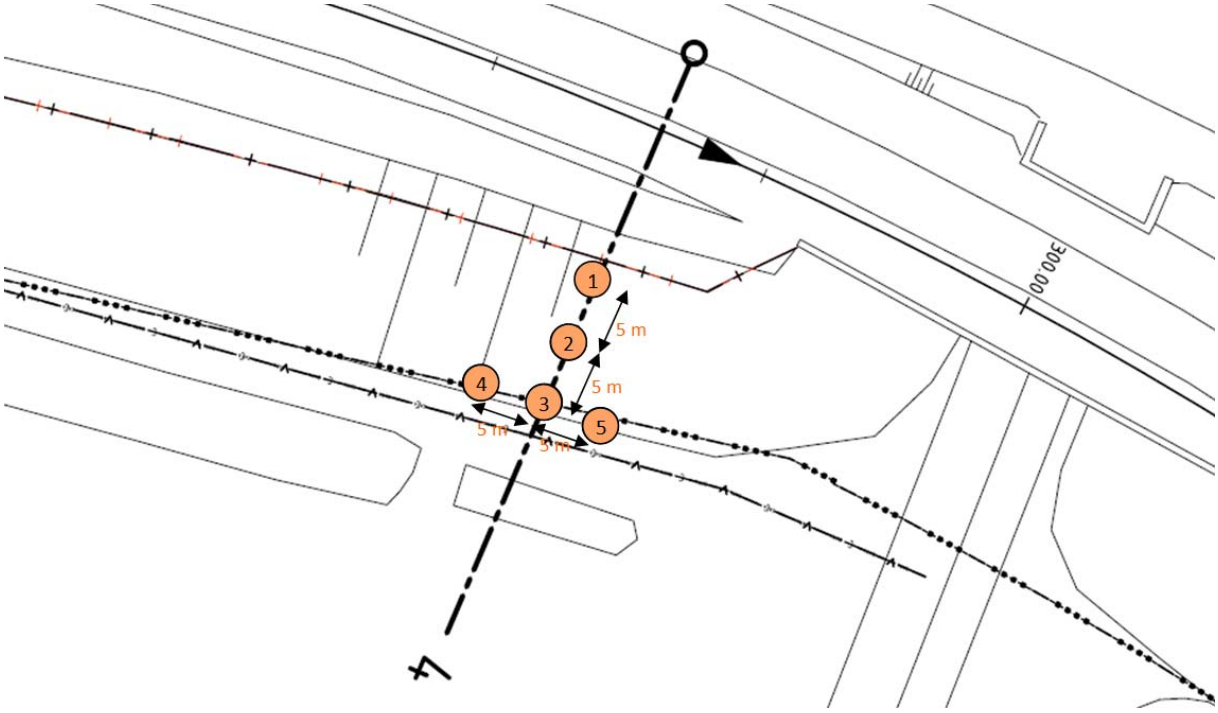
Figuur 2-3 dwarsprofiel (bron: tekening Grontmij)

Trillingsmeetsignaal metro passage

Op drie locaties zijn trillingsmetingen in vijf meetpunten op maaiveld uitgevoerd. Uit een vergelijking van de meetresultaten per locatie, is gebleken dat meetlocatie 2 (nabij Toren 3) maatgevend is ten opzichte van locatie 1 nabij Toren 1 dan wel locatie 3 nabij Toren 4. Per locatie zijn meerdere passages gemeten.

In de bijlagen zijn de drie locaties de representatieve meetsignalen opgenomen.

In figuur 2-4 is de meetopstelling van locatie 2 weergegeven.

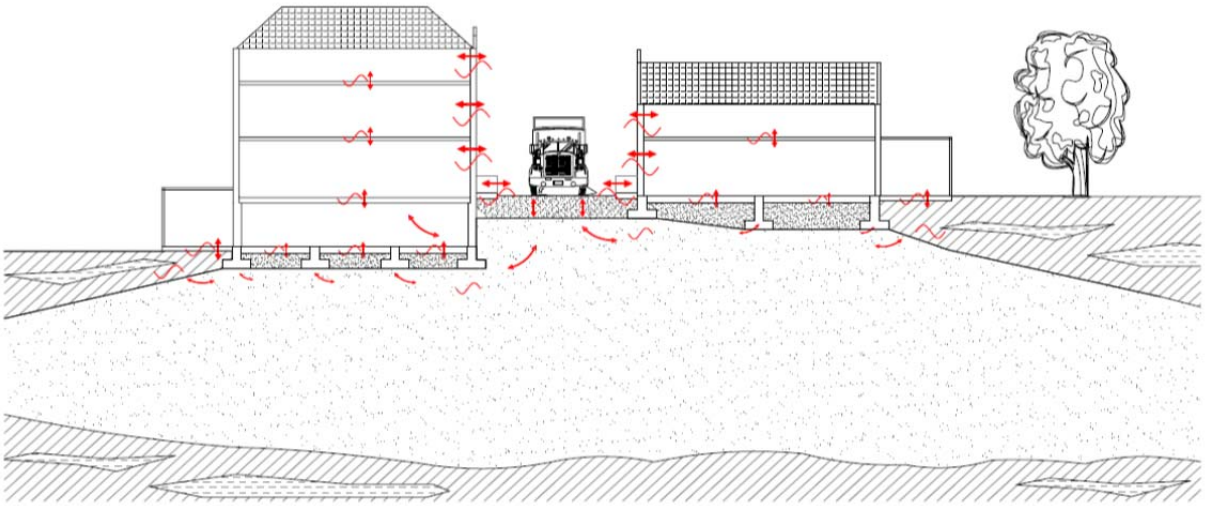


Figuur 2-4 meetopstelling en nummering van sensoren, meetlocatie 2

3. ANALYSES TRILLINGSOVERDRACHT

3.1. 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 3-1 is (schematisch) de interactie tussen trillingsbron en ontvanger weergegeven.

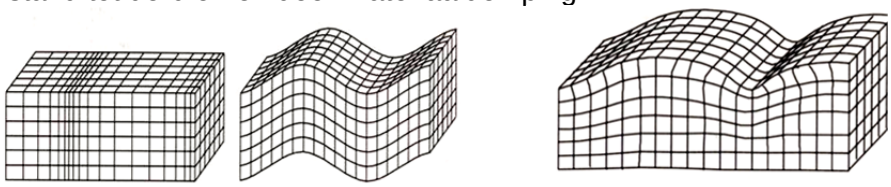


Figuur 3-1: Interactie tussen trillingsbron en ontvanger, situatie fundering op staal

Wanneer (rail)verkeer passeert over een ruw oppervlak veroorzaakt deze plastische en elastische vervormingen in de spoorconstructie/ondergrond. Door de snelle introductie van deze vervormingen ontstaan golfverschijnselen in de grond.

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.



Drukgolf (links) schuifgolf (rechts) Rayleigh golf

Figuur 3-2: *Verschillende trillingsgolven*

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

1. Bron: spoorverkeer;
   - Door het passerende railverkeer wordt een dynamische belasting (impuls) op het baanlichaam uitgeoefend.
   - De passagesnelheid en type / tonnage / aantal passages van een trein / metro geven de grootste trilling bij de bron.
2. Medium: bodem en wegconstructie;
   - Tijdens de passage 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 baanlichaam als overdracht door dieper gelegen grondlagen hebben effect op de grootte van de trillingsintensiteiten;
   - Stijfheidsgegevens van de grond en baanlichaam 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 trillingsintensiteit aan de draagconstructie naar die op vloeren en ondersteunende onderdelen treedt enig(e) opslingereffect 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 3-3: Passage metrovoertuig, “nieuw model” Rijrichting Diemen



Figuur 3-4: Passage metrovoertuig, “oude model” Rijrichting Centrum



Figuur 3-5: Passage metrovoertuig, “oud model” Rijrichting Diemen



Figuur 3-6: Passage metrovoertuig, “nieuw model” Rijrichting Diemen

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

Ad 2. Medium
Ten tijde van de metingen in mei 2015 zijn op locatie 1 en 2 trillingsmeters in een conus geplaatst. Deze meetlocaties zijn voor gesondeerd. De bodemgesteldheid is globaal geschematiseerd zoals in tabel 2-1**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** is weergegeven. In de bijlage zijn representatieve sonderingen opgenomen.

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”.

3.2. Trillingsreducerende maatregelen

Uit de resultaten van de metingen blijkt dat de passages van metro en trein mogelijk tot hinderbeleving in de toekomstige nieuwbouw kan leiden. Een uitgebreide beschrijving is opgenomen in rapport 1015-0192-001.R01V01.

Trillingsreducerende maatregelen kunnen worden toegepast bij de bron (het spoor), in het medium (grond) of bij de ontvanger (nieuwbouw). Omdat bij de bron het niet mogelijk is om aanpassingen door te voeren en omdat bij de ontvanger het toepassen van trillingsreducerende maatregelen om economische redenen vaak niet aantrekkelijk is, dient in het medium een maatregel aangebracht te worden. Een maatregel aan / in de nieuwbouw is zeer complex en kostbaar.

Een aanpassing aan het medium lijkt daarmee de beste oplossing. Een relatief eenvoudige oplossing is het toepassen van een PS-scherm direct naast de bron of direct naast de ontvanger. In dit gevel direct naast de ontvanger nabij de erfgrens. Hierbij wordt langs de geplande nieuwbouw een trillingscherm in de ondergrond geplaatst, waardoor de trillingen in het medium gedempt en gereflecteerd worden zodat de trillingen aan de zijde van de nieuwbouw gereduceerd worden tot een acceptabel niveau.

4. MODELERING

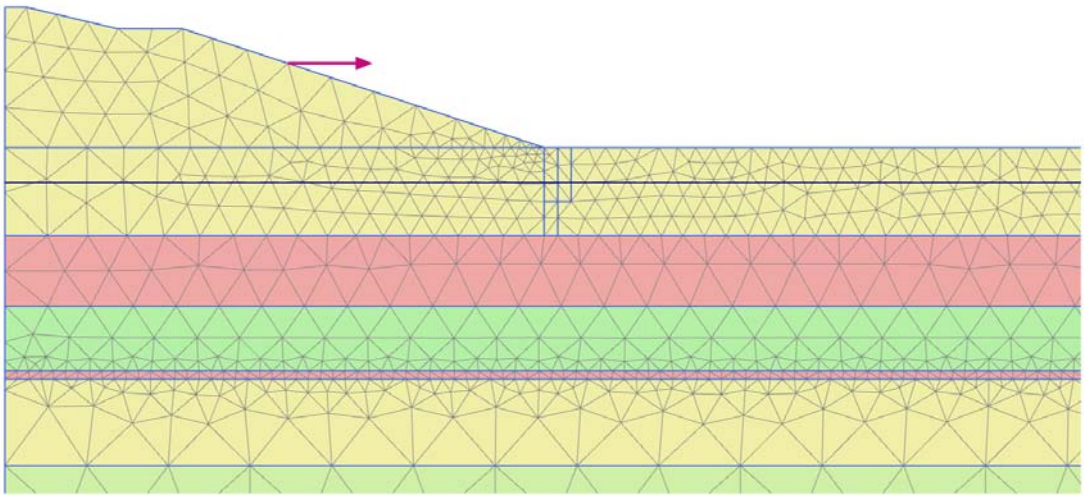
4.1. Input

Om de invloed van het trillingscherm te kunnen bepalen (dimensies en locatie ervan), dient op een geschematiseerde ondergrond een dynamische belasting aangebracht te worden. De passage van de metro is de bron.

De belangrijkste onderdelen van de modellering zijn de geometrie, de grondparameters en het input signaal.

Dwarsprofiel

Aan de hand van aangeleverde dwarsdoorsneden en de grondschematisatie (grondonderzoek) is in figuur 4.1 het geschematiseerd PLAXIS profiel opgemaakt. De linker grens is gelijk gekozen aan het hart van het dichtbij liggende spoor.



Figuur 4-1 uitsneden van de gemodelleerde geometrie, ter plaatse van de pijl is versnelling geplaatst

Grondeigenschappen en model

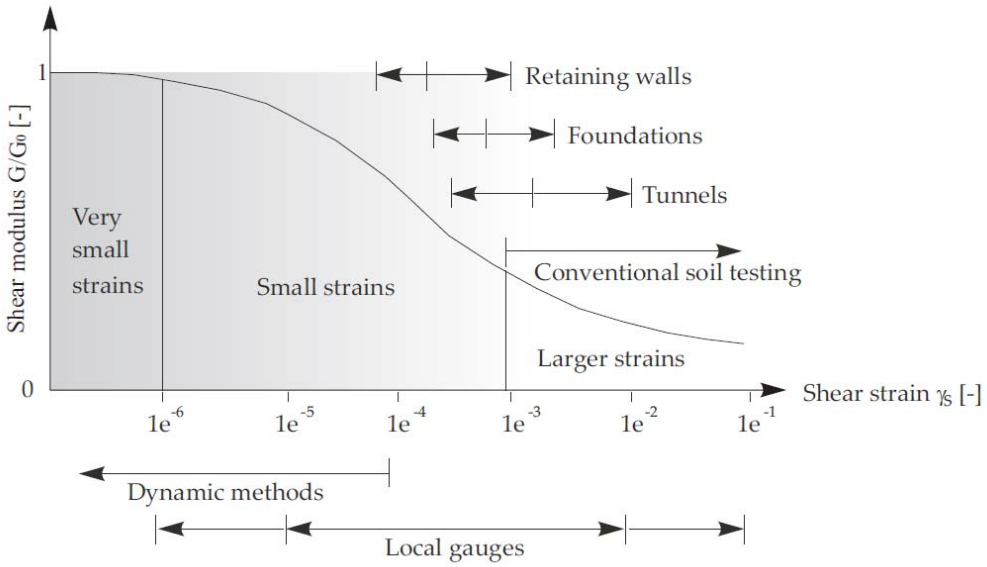
In tabel 4-1 zijn de in PLAXIS gehanteerde grondeigenschappen (parameters) opgenomen.

Tabel 4-1 Grondparameters voor materiaal model (HSsmall)

Grondlaag	γ/γ_{sat} [kN/m^3]	c′ [kPa]	φ′ [^{0}]	Ψ [^{0}]	m	E_{50}^{ref} [MPa]	E_{oed}^{ref} [MPa]	E_{ur}^{ref} [MPa]	G_0^{ref} [MPa]	$\gamma_{0,7}$ [-]
ZAND	17 / 19	0	30	0	0.5	15	15	40	75	10^{-1}
ZAND, vast	19 / 21	0	35	5	0.5	75	75	225	400	10^{-2}
VEEN	12 / 12	5	15	0	1.0	0.5	0.5	1.5	2.8	7×10^{-2}
KLEI	14 / 14	0	17.5	0	1.0	1.0	1.0	3.0	5.5	10^{-3}
KLEI, zandig	18 / 18	5	22.5	0	1.0	3.0	3.0	9.0	16.25	5×10^{-2}

Het materiaalmodel “Hardening Soil Small Strain” (HSsmall) is gehanteerd. Met het HSsmall model wordt de geometrische demping in rekening gebracht volgens het principe van hysterese demping. De belangrijkste eigenschap daarvoor is de rekafhankelijke demping en stijfheid. Bij kleinere rekken hoort een grotere stijfheid dan grotere rekken. Dit principe is

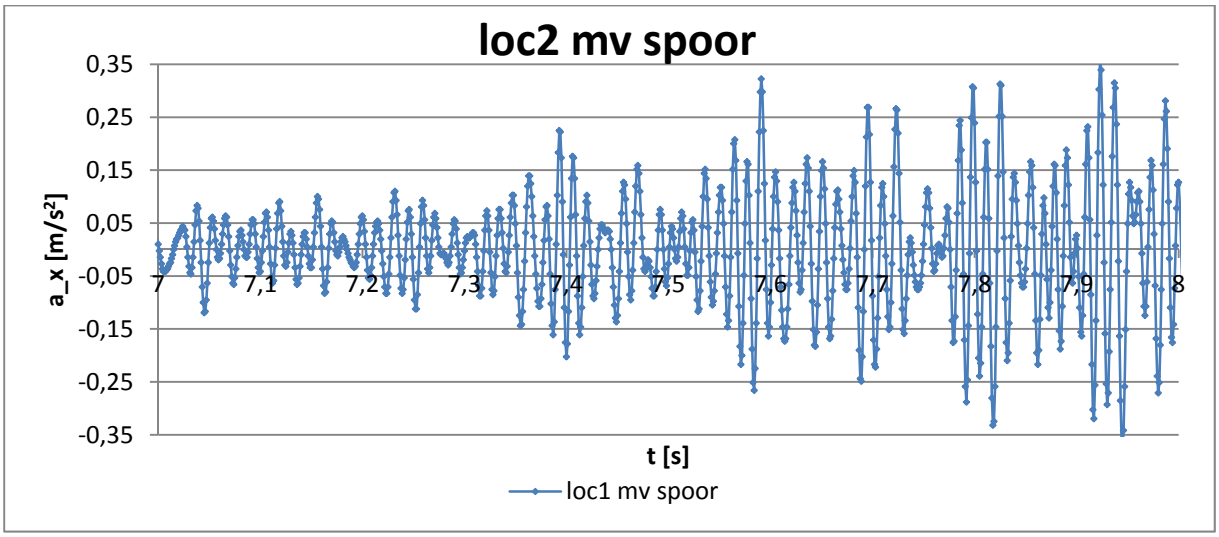
weer gegeven figuur 4-2 en wordt gezien als de meest representatieve manier om de dynamische eigenschappen van de grond te modelleren.



Figuur 4-2 Stijfheidsgedrag ten gevolgen van de rek (bron: Atkinson & Sallfors (1991))

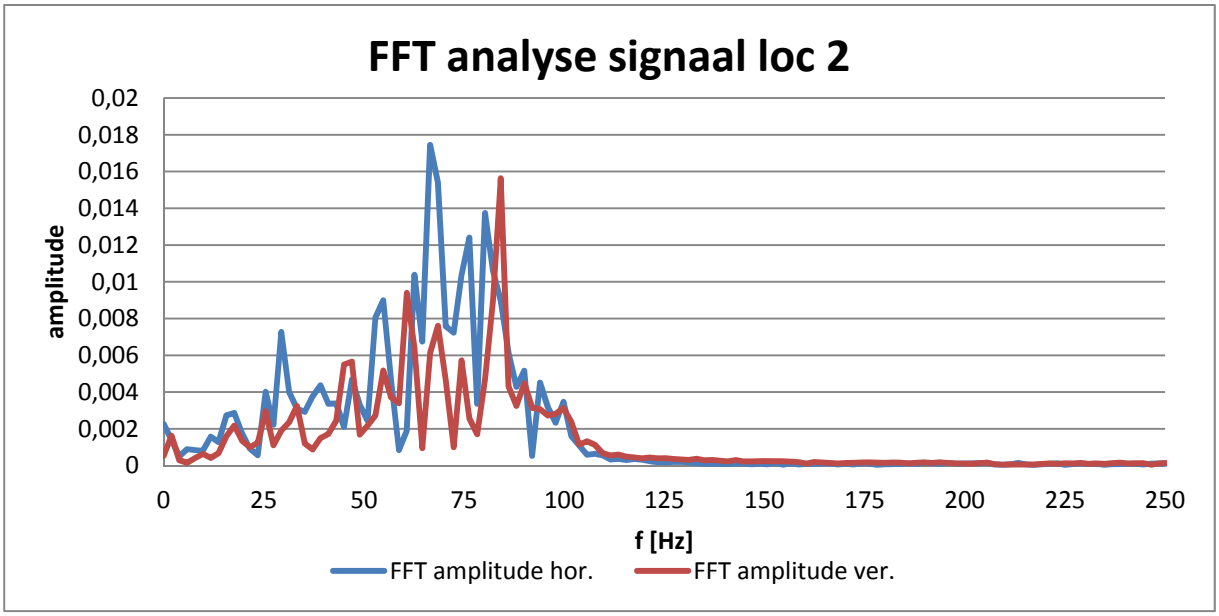
Trillingssignaal (bron)
Het representatieve maatgevend meetsignaal van locatie 2 is gehanteerd ter ijking van het model. Uit de grafische weergave van het signaal is op te maken dat de horizontale richting (haaks op het talud) maatgevend is ten opzichte van het verticale en horizontale evenwijdig aan het talud signaal.

Voor de modellering is gebruik gemaakt van een combinatie van het horizontale en verticale versnellingssignaal. Van meetpunt 3 dat in de teen van het talud op de grens met de nieuwbouw heeft gestaan is van het totale signaal een gedeelte gebruikt als belastingsignaal (figuur 4-3).

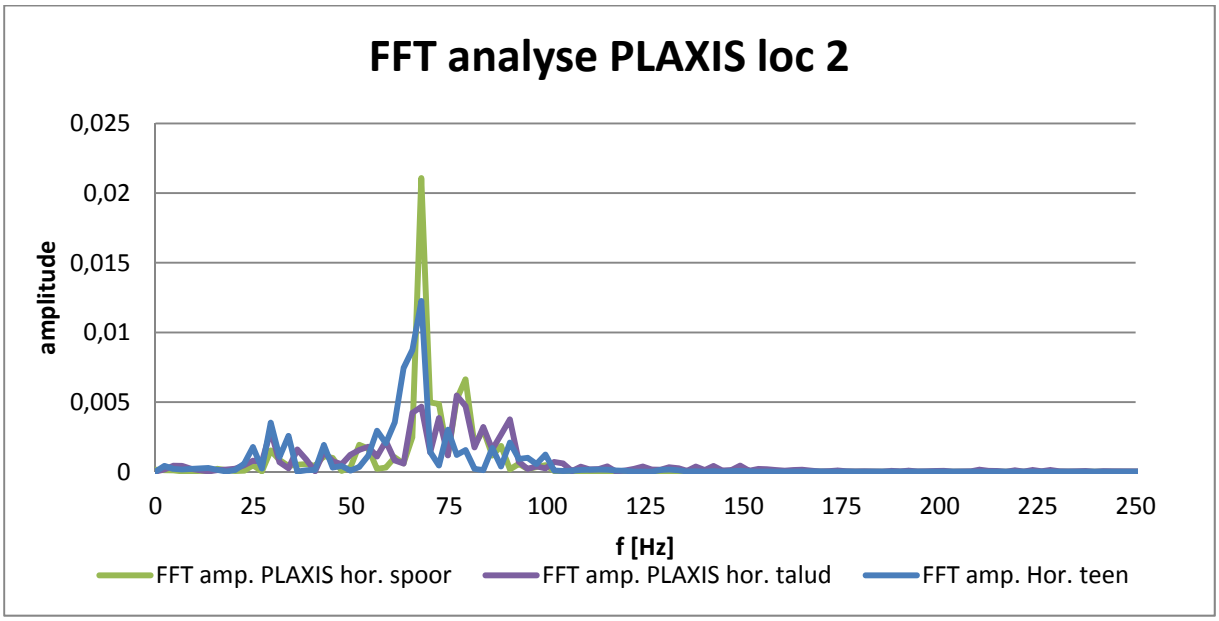


Figuur 4-3 signaal gemeten op talud gebruikt als input versnelling voor de analyse

FFT analyses
Het belastingsignaal is geanalyseerd doormiddel van een Fast Fourrier Transformatie (FFT). Met een FFT analyse wordt inzicht verkregen in de dominante frequenties die zich in het signaal bevinden. In figuur 4-4 is van meetpunt 1 (figuur 2.3) het resultaat van de FFT voor het meetsignaal op locatie 2 weergegeven. In figuur 4-5 is het resultaat van de FFT voor het met PLAXIS berekende signaal weergegeven. Geconcludeerd kan worden dat de eigenschappen van het belastingsignaal vergelijkbaar zijn met de eigenschappen van het berekende signaal.



Figuur 4-4 FFT analyse signaal op "locatie 2 spoor" in horizontale richting en verticale richting



Figuur 4-5 FFT analyse horizontale resultaten uit PLAXIS voor de drie meetlocaties langs het talud

Door deze procedure toe te passen op de signalen van de taludmeetpunten, is de demping van het model te bepalen.

4.1.1. PS-scherm

Het toepassen van een EPS-scherm is een effectieve maatregel om trillingen te reduceren. Vanuit de literatuur en vanuit de praktijk is bekend dat grote reducties te verwachten zijn op het moment dat er tussen de 2 materialen (grond en scherm) grote stijfheidsverschillen over grote dikte aanwezig is. De verschillen in golfvoorplantingssnelheid tussen de materialen grond en PS zorgen ervoor dat de trillingen in mindere mate worden doorgegeven (demping en reflectie).

Afmetingen PS scherm

Een 1^{e} schatting van de dimensies van het scherm is gemaakt op basis van Ahmad & Al-Hussaini (1991). Dit artikel geeft op basis van de golflengten en frequenties een verhouding van de diepte versus de breedte. In dit geval is een ratio van minimaal 2 tot 4 bepaald. Op basis van ervaringen met vergelijkbare projecten waar trillingschermen zijn geplaatst is bepaald dat een minimale diepte van 2 m voor het scherm benodigd is (1^{e} schatting). Bij de PLAXIS berekeningen zijn deze afmetingen als startwaarden gehanteerd.

Om de PLAXIS resultaten onderling te vergelijken (bepalen effect) zijn twee verschillende PS dikten beschouwd, 0,5 m dik en 1,0 m dik. Een trillingscherm met een grotere dikte levert een hogere demping.

Materiaaleigenschappen PS

Op basis van door leveranciers aangeleverde informatie van PS zijn in tabel 4-2 de materiaaleigenschappen van PS opgenomen.

Tabel 4-2 Materiaal eigenschappen PS

Type	γ [kg/m^3]	E [MPa]	ν
EPS30	30	7.5	0.2

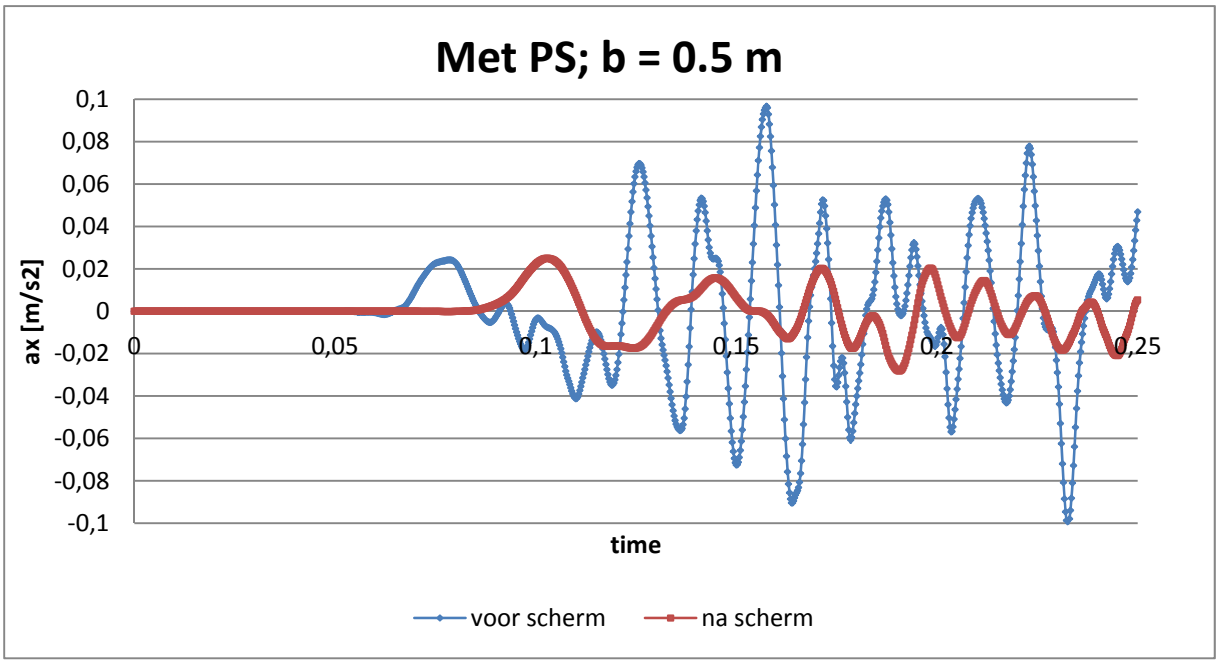
4.2. Resultaten

Als uitgangspunt zijn de afmetingen gebruikt zoals beschreven in paragraaf 4.1.1, de eerste berekening is gebruikt voor de resultaten die horen bij de een breedte van 0,5 m en diepte van 2,0 m. In figuur 4-6 is te zien dat de versnelling over het PS-scherm afneemt in amplitude. Er zijn twee locaties vergeleken; de eerste 20 cm voor het scherm, de beweging komt daar dus eerst aan, en de tweede 20 cm na het scherm.
Dit effect is tevens te zien in figuur 4-7, dit plaatje laat de maximale versnellingen zien die opgetreden zijn tijdens de berekening. Het PS-scherm is met het witte blokje aangegeven en het gemeten signaal is als belasting op de grijze stip aangebracht en het plaatje laat zien dat er achter het scherm minder grote versnellingen te verwachten zijn. De versnellingen worden groter richting de input locatie, maar zijn tot een maximale waarde gepresenteerd om het effect beter aan te kunnen geven.

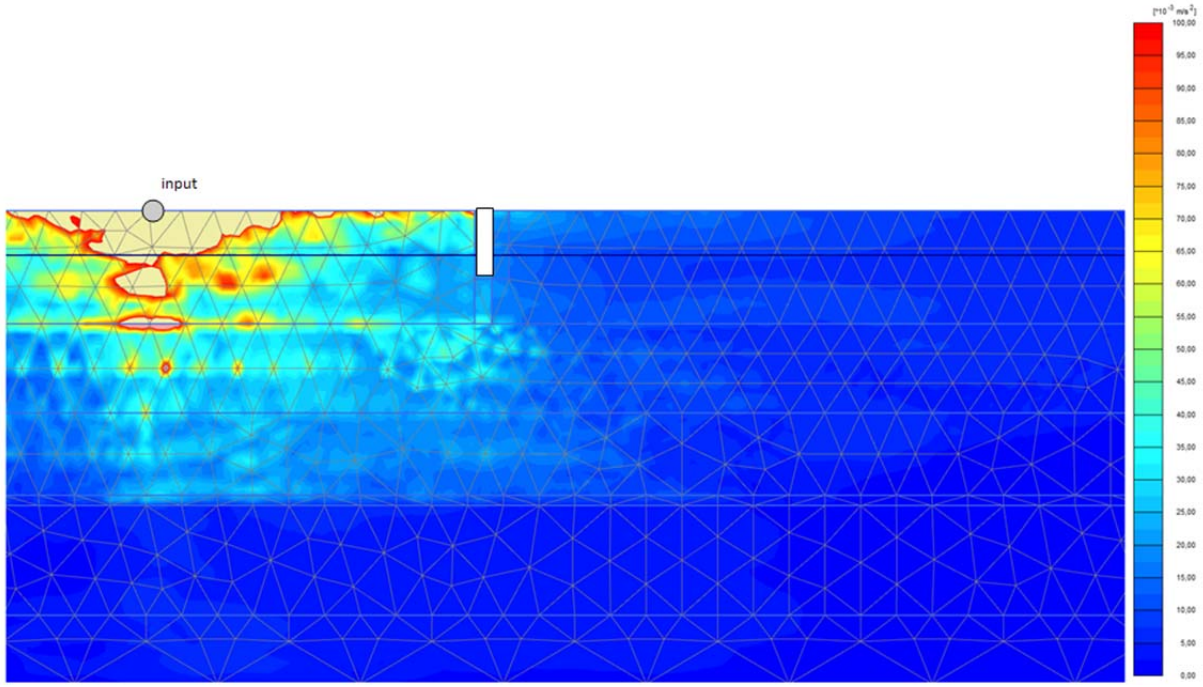
Wanneer de breedte van het PS-scherm wordt verhoogd naar 1,0 m neemt de reductie over het scherm toe. De resultaten van deze berekening zijn gepresenteerd in figuur 4-8.

Een derde mogelijkheid is om het PS-scherm langer te maken, in dit geval zou het een goede mogelijkheid zijn omdat dat de top zandlaag “afgesloten” wordt. Wanneer het scherm een diepte van 3,3 m en breedte van 0,5 m heeft, worden de resultaten gevonden zoals gepresenteerd in figuur 4-9.

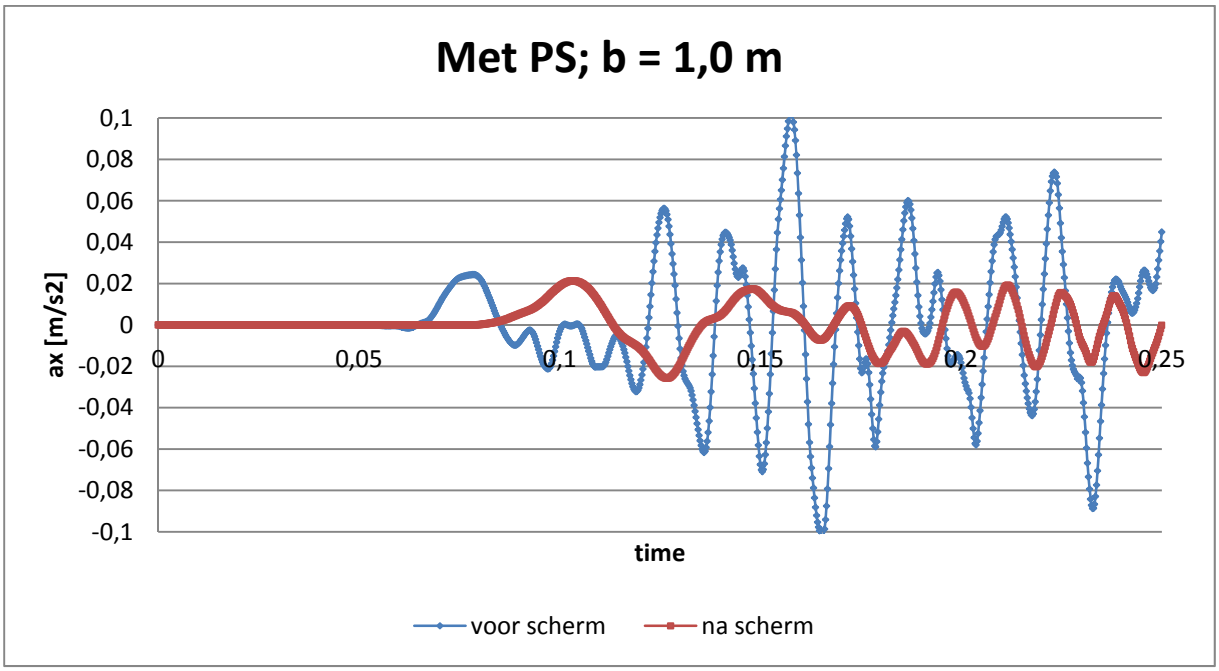
Tijdens de berekening is rekening gehouden dat het scherm aan de teen van het talud, langs de nieuw geplande bebouwing is geplaatst. Het wordt geadviseerd het scherm aan te brengen zoals weergegeven in de tekening in bijlage R02-1 en R02-2.



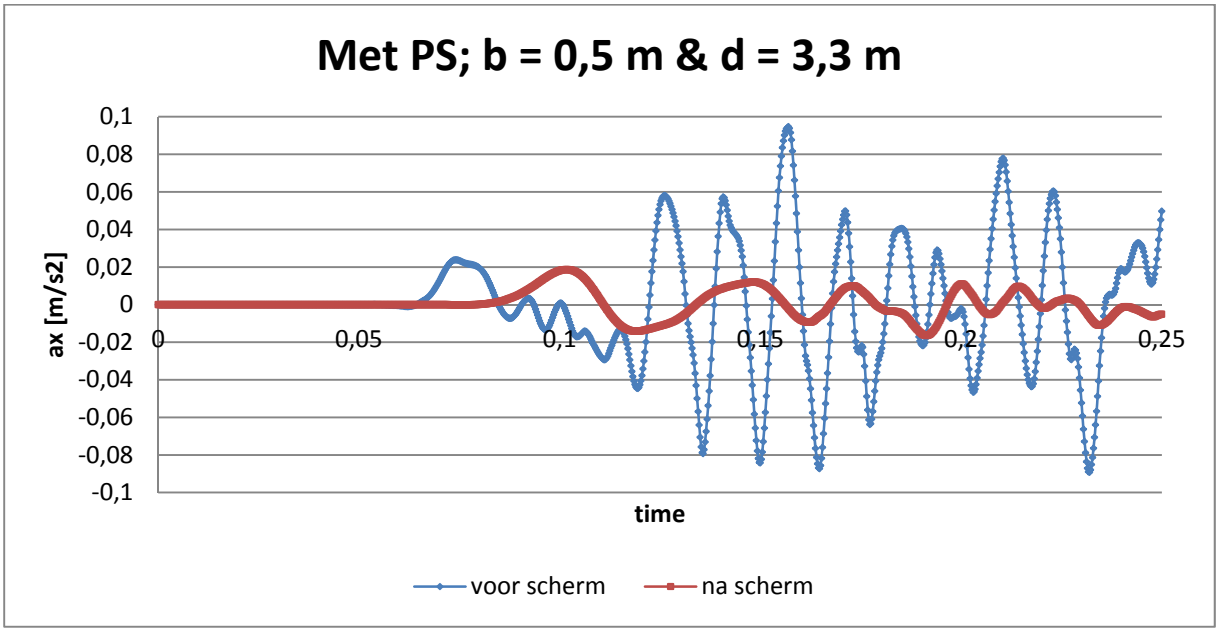
Figuur 4-6 berekende versnellingen bij een PS breedte van 0,5 m



Figuur 4-7 maximale versnellingen bij toepassing van PS-scherm (2,0 m × 0,5 m)



Figuur 4-8 berekende versnellingen bij een PS breedte van 1,0 m



Figuur 4-9 berekende versnellingen bij een EPS diepte van 3,3 m (tot veenlaag)

5. CONCLUSIES

Situatie
Op de locatie van de geplande nieuwbouw ontstaan door de passage van treinen en metro's trillingen in de ondergrond. De trillingen worden via de ondergrond overgedragen op de draagconstructie van de geplande nieuwbouw.

Doormiddel van twee meetsessies in mei en juni 2015 is inzicht verkregen in de optredende trillingen bij passages van metro's. De metingen in mei 2015 zijn ter beoordeling van de situatie op schade en hinderbeleving uitgevoerd. Geconcludeerd is dat geen risico op schade bestaat (SBR-A richtlijn), maar dat hinderbeleving aannemelijk is (SBR-B richtlijn).

De vervolgmetingen in juni 2015 zijn ter verkrijgen van het totale passagesignaal uitgevoerd. Dit signaal is als invoer gehanteerd voor PLAXIS berekeningen, waarmee de dimensies van de trillingsreducerende maatregel Trillingscherm zijn bepaald.

Trillingsreducerende maatregelen
Algemeen geldt dat zowel trillingsreducerende maatregelen bij de bron als in het medium als bij de ontvanger kunnen worden toegepast. In dit geval (Diemen, Eekholt) is een maatregel bij de bron en bij de ontvanger niet mogelijk. Geadviseerd is om als trillingsreducerende maatregel een PS-scherm toe bij de ontvanger (b.v ter hoogte van de erfgrens). Het scherm is relatief eenvoudig aan te brengen en zorgt ervoor dat de trillingen genoeg gereduceerd worden om te kunnen voldoen aan de criteria van hinderbeleving volgens SBR-B (verwachting).

Dimensies PS scherm
Verwacht wordt dat indien een PS-scherm met een breedte van 0,5 m en een diepte van 2,0 m evenwijdig aan het spoorbaanlichaam in de teen nabij de erfgrens wordt aangebracht, een reductie van de trillingen van ca. 60%-70% aan de zijde waar de nieuwbouw verkregen kan worden. Met een PS breedte van 1,0 m (diepte 2 m), wordt een reductie van circa 75% tot 80% verwacht. De zelfde reductie van 75% tot 80% wordt verwacht als een scherm van 3,3 × 0,5 m wordt toegepast.

6. REFERENTIES

[1] Atkinson, J.H., Sallfors, G. (1991). Experimental determination of soil properties. In proc. 10th ECSMFE, 3, 915-956

[2] Ahmad, S., & Al-Hussaini, T. M. (1991). Simplified Design for Vibration Screening by Open and In-Filled Trenches. Journal of geotechnical engineering.

6.1. Tekeningen

[1] Projnr-MBG-315-Txxx; BESTAANDE DWARSPROFIELEN FASE 1, tekening Grontmij



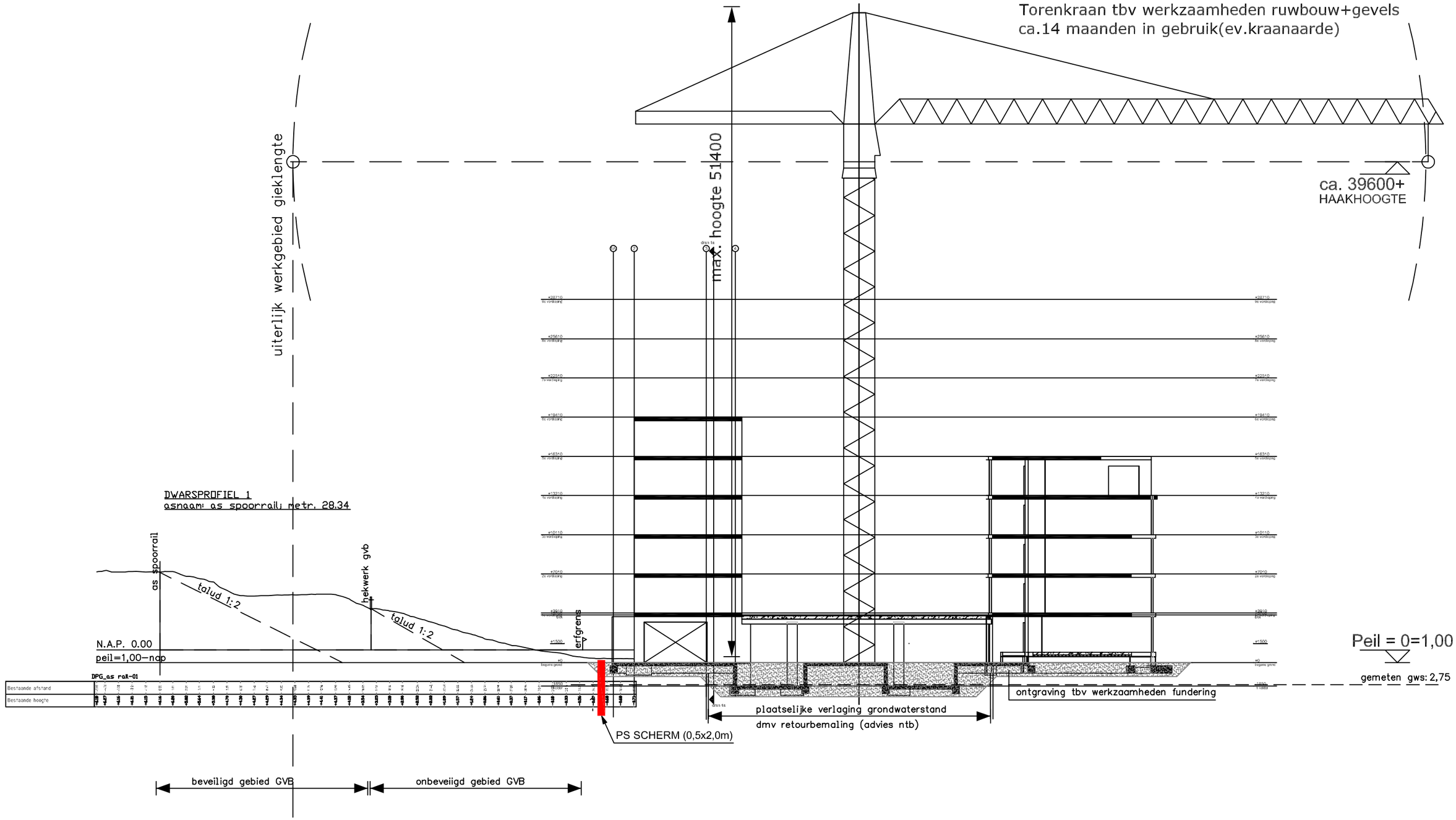
Niet op schaal

GLOBALE LOCATIE TRILLINGSCHERM

METROPASSAGE NIEUWBOUW EEKHOLT 4 TE DIEMEN

Opdr. : 1015-0192-001
Bijl. : R02

P:\10\1015-0192-001\31_Advies_geotechniek\20_Engineering\1015-0192-001-R02.dwg
Get.: yfn Datum: 20-07-2015 Versie : Revisie Datum:



Niet op schaal

PRINCIPE OPLOSSING TRILLINGSCHERM

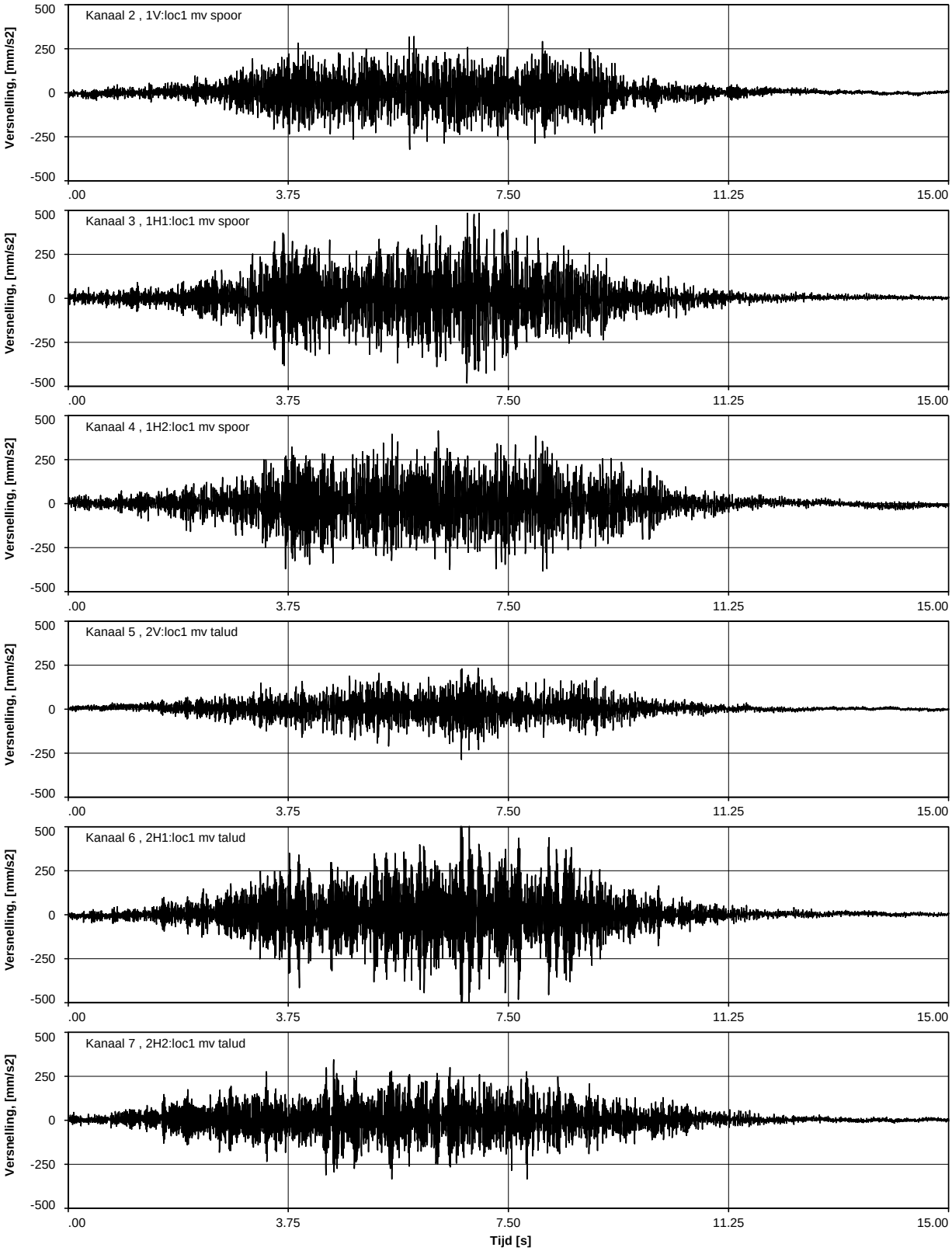
METROPASSAGE NIEUWBOUW EEKHOLT 4 TE DIEMEN

Opdr. : 1015-0192-001

Bijl. : R02-2

P:\10\1015-0192-001\31_Advies_geotechniek\20_Engineering\1015-0192-001-R02-2.dwg

Get.: YFN Datum: 22-07-2015 Versie : Revisie Datum:

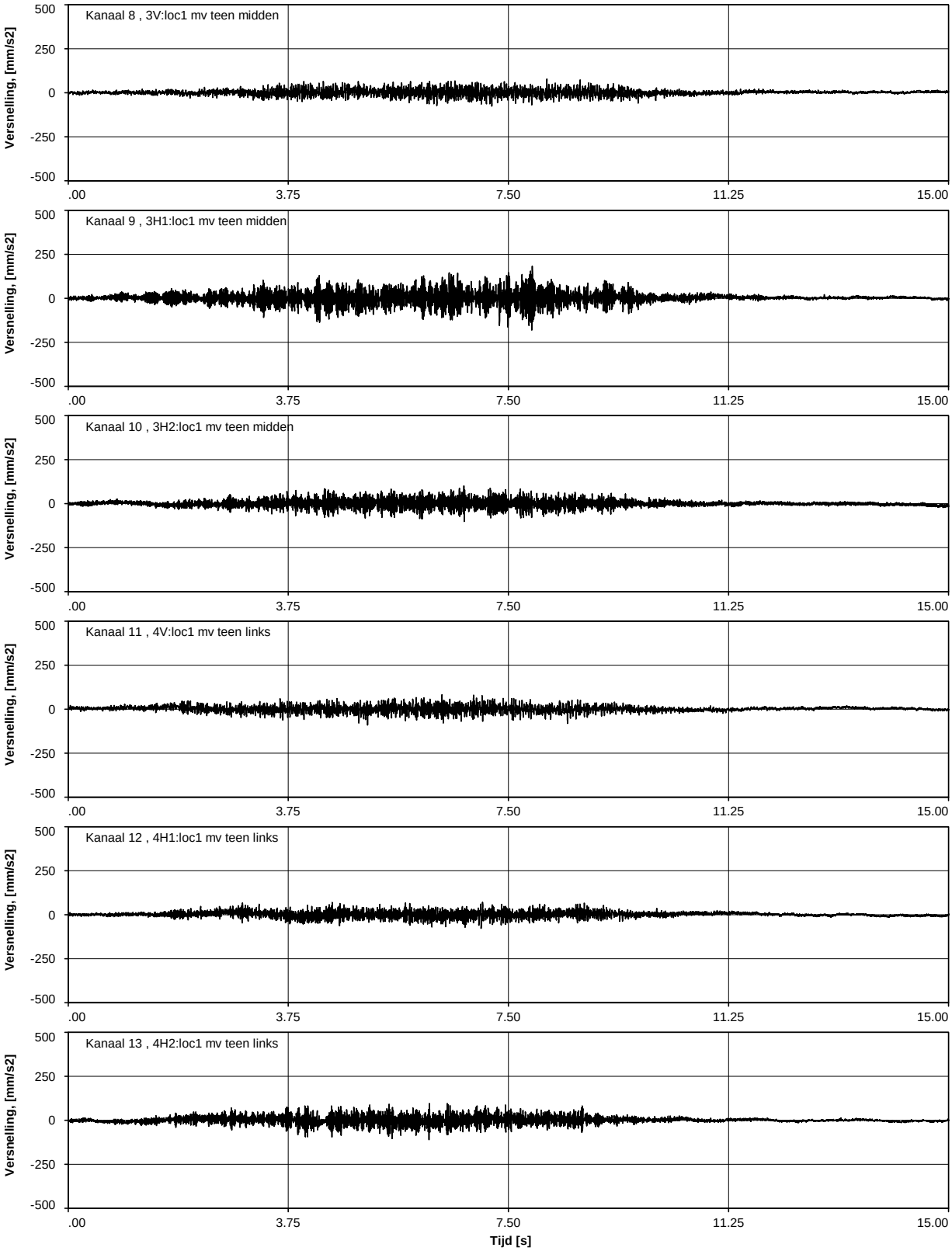


Bestand: loc1metrod.005
Opmerkingen: metro--> D
Datum: 17/06/15 09:07

GRAFIEK TRILLINGSREGISTRATIE

Eekholt 4, locatie 1 tm 3 representatieve passages — Opdr.: 1015-0192-001

Diemen — Bijl.: 1-A

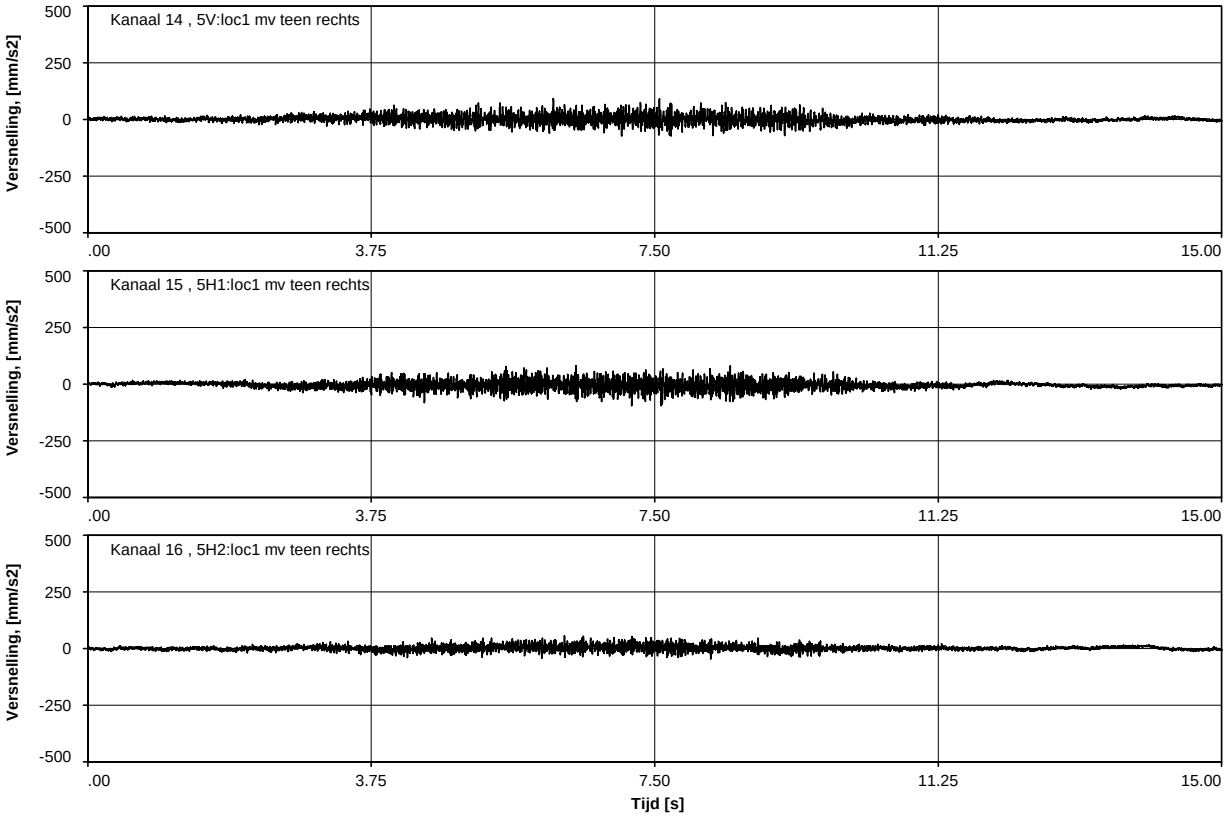


Bestand: loc1metrod.005
Opmerkingen: metro--> D
Datum: 17/06/15 09:07

GRAFIEK TRILLINGSREGISTRATIE

Eekholt 4, locatie 1 tm 3 representatieve passages — Opdr.: 1015-0192-001

Diemen — Bijl.: 1-B

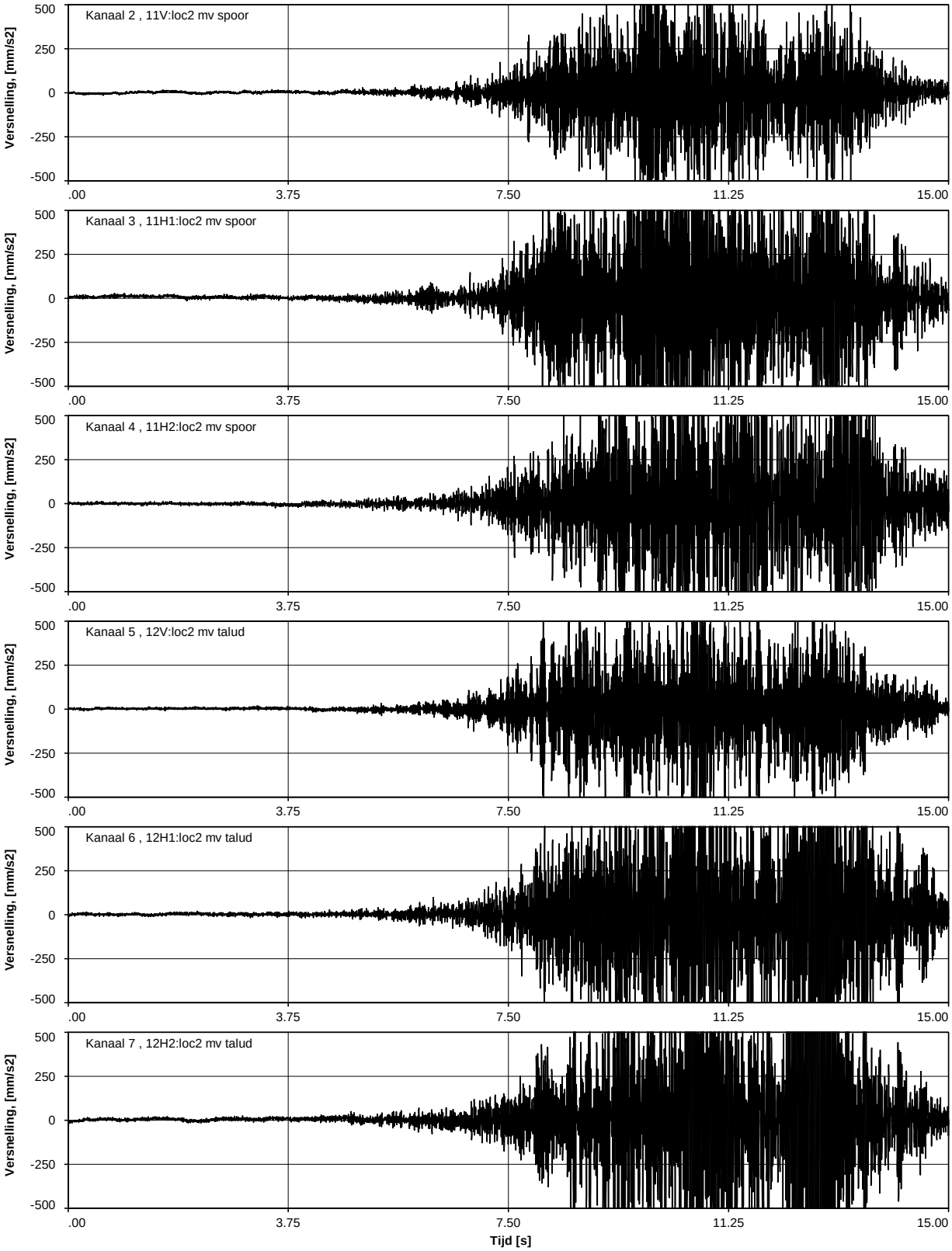


Bestand: loc1metrod.005
Opmerkingen: metro--> D
Datum: 17/06/15 09:07

GRAFIEK TRILLINGSREGISTRATIE

Eekholt 4, locatie 1 tm 3 representatieve passages — Opdr.: 1015-0192-001

Diemen — Bijl.: 1-C

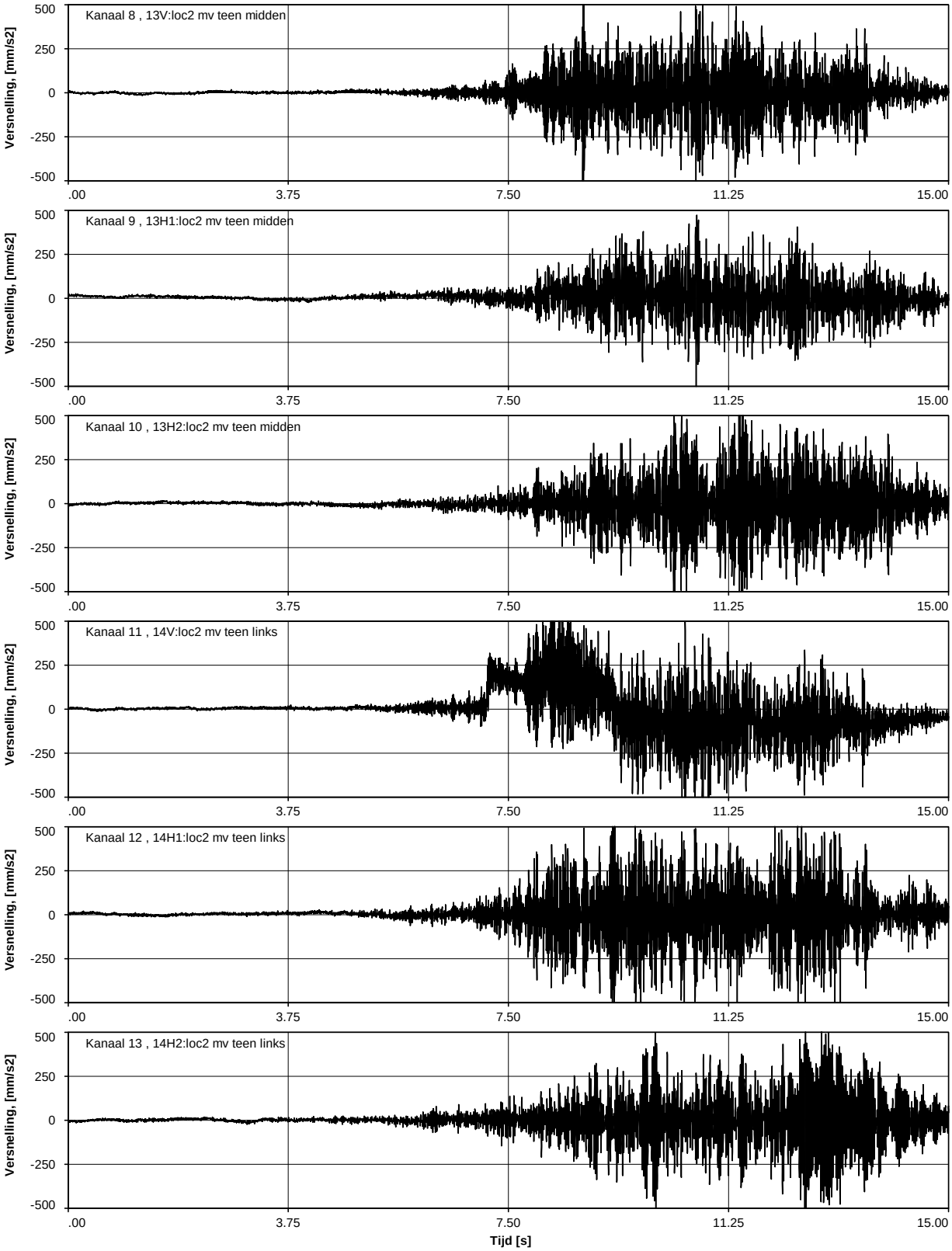


Bestand: loc2metrod.008
Opmerkingen: loc2 metro --> d
Datum: 17/06/15 12:49

GRAFIEK TRILLINGSREGISTRATIE

Eekholt 4, locatie 1 tm 3 representatieve passages — Opdr.: 1015-0192-001

Diemen — Bijl.: 2-A

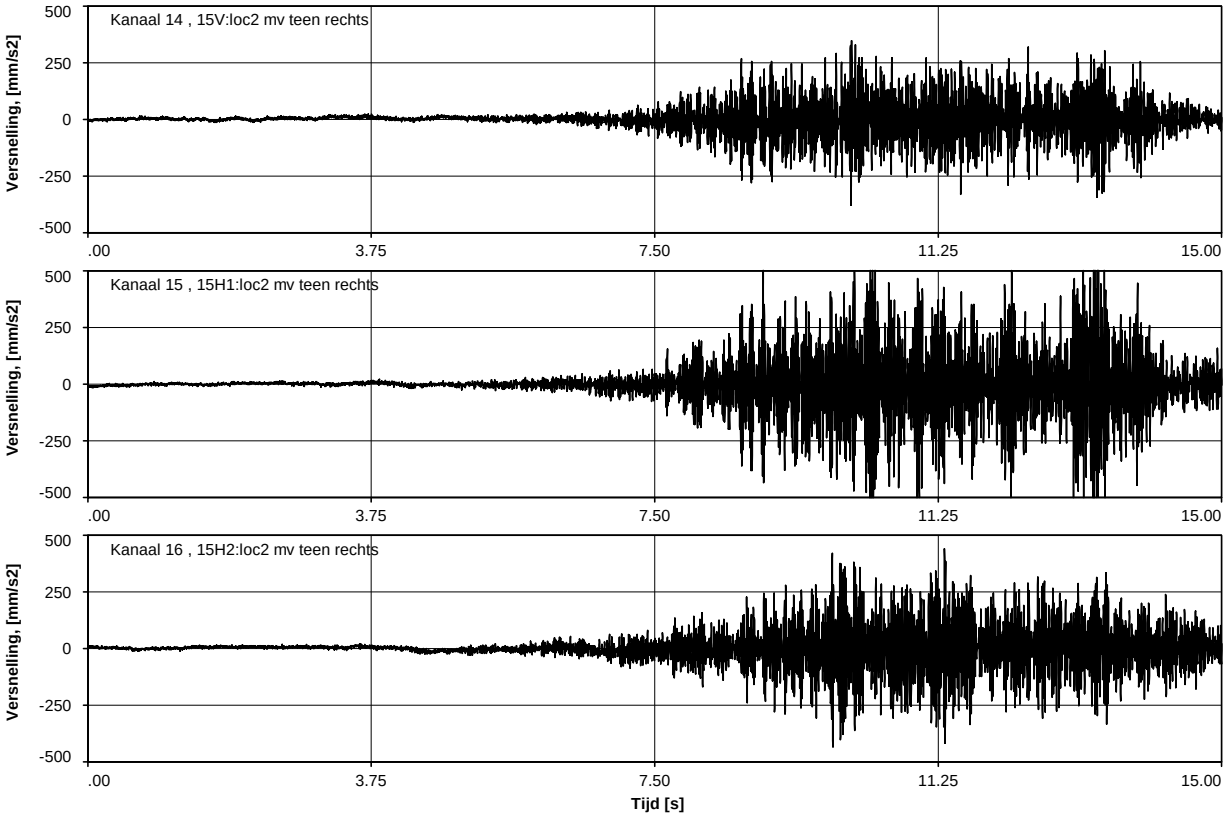


Bestand: loc2metrod.008
Opmerkingen: loc2 metro --> d
Datum: 17/06/15 12:49

GRAFIEK TRILLINGSREGISTRATIE

Eekholt 4, locatie 1 tm 3 representatieve passages — Opdr.: 1015-0192-001

Diemen — Bijl.: 2-B

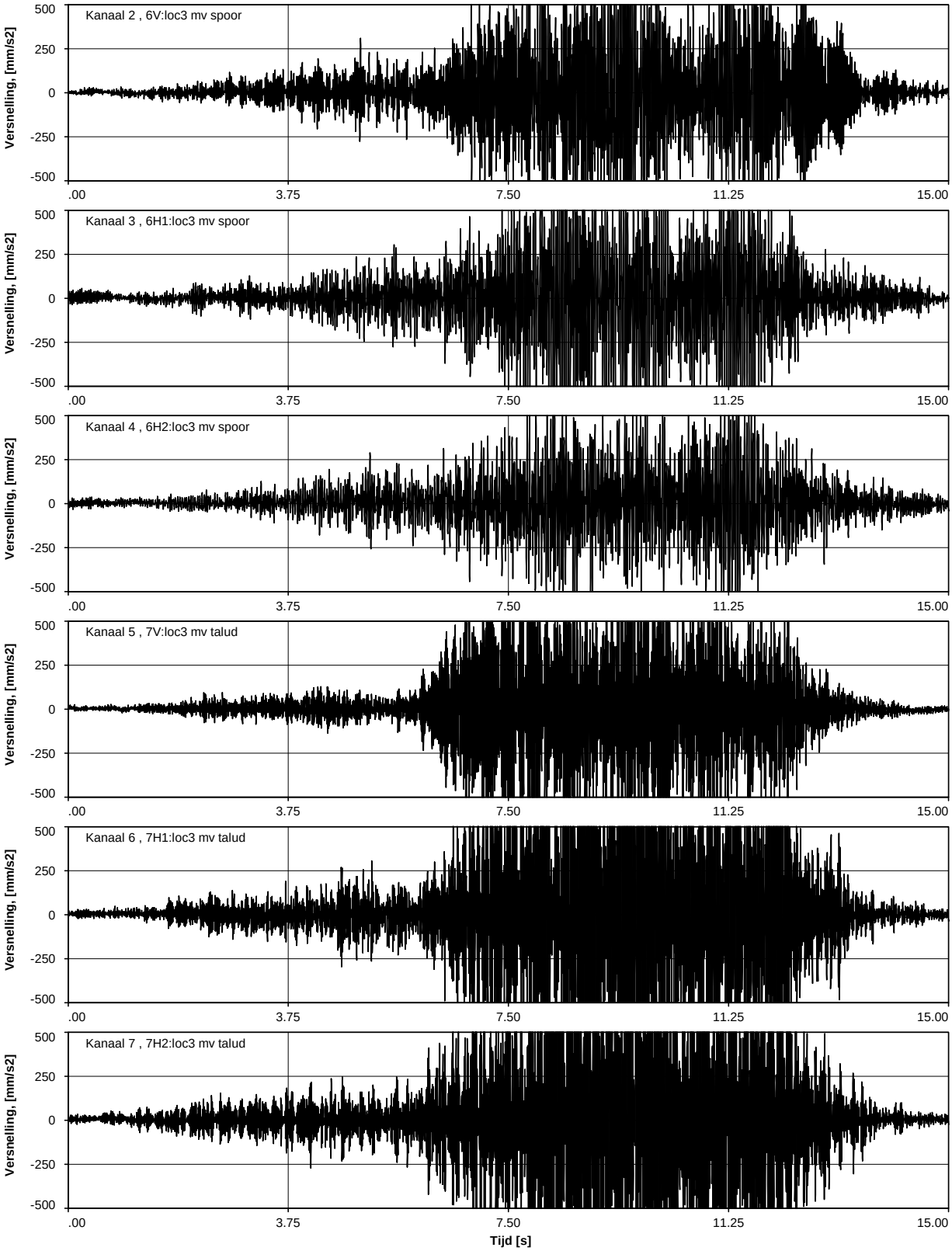


Bestand: loc2metrod.008
Opmerkingen: loc2 metro --> d
Datum: 17/06/15 12:49

GRAFIEK TRILLINGSREGISTRATIE

Eekholt 4, locatie 1 tm 3 representatieve passages — Opdr.: 1015-0192-001

Diemen — Bijl.: 2-C

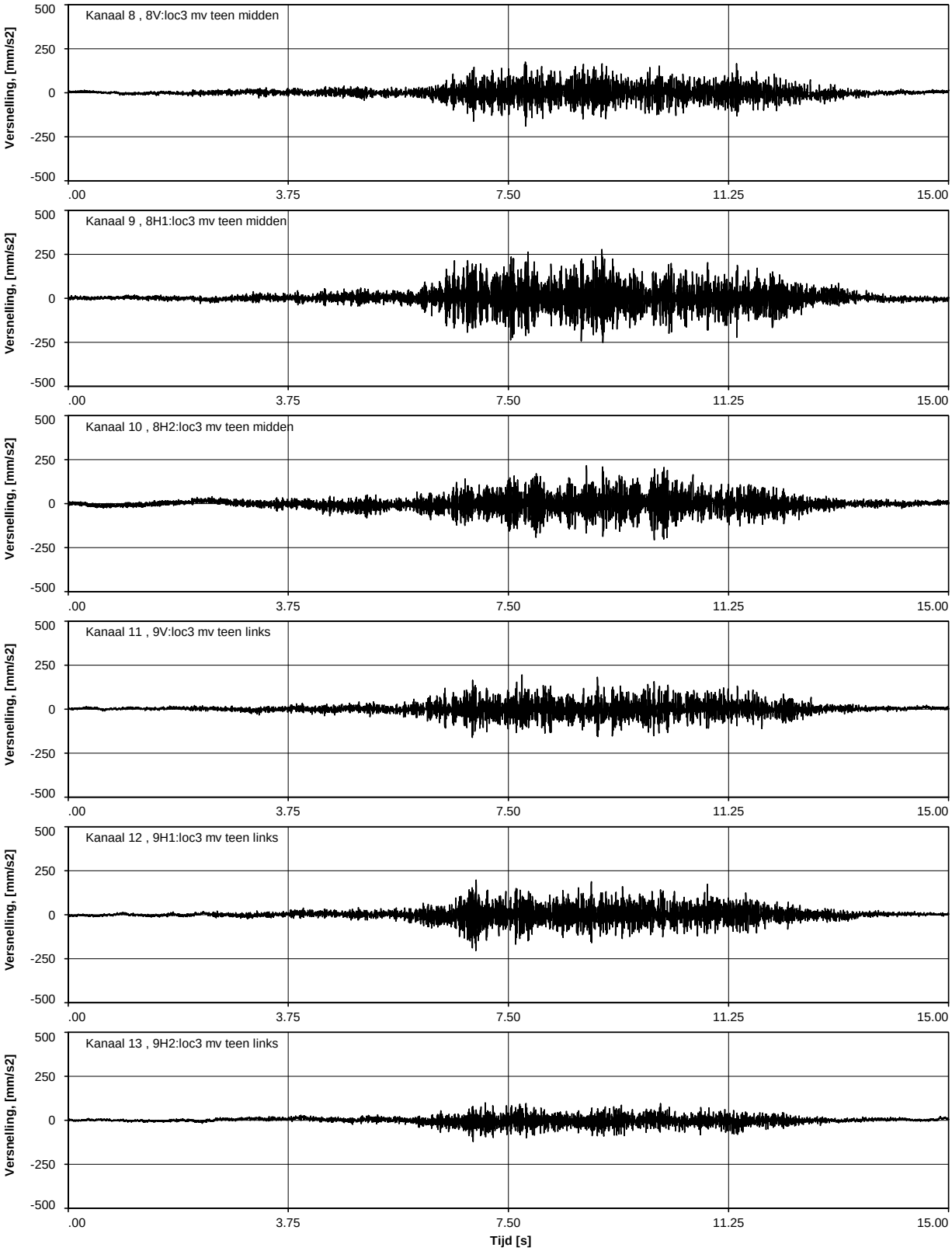


Bestand: loc3metrod.005
Opmerkingen: metro-->D
Datum: 17/06/15 10:57

GRAFIEK TRILLINGSREGISTRATIE

Eekholt 4, locatie 1 tm 3 representatieve passages — Opdr.: 1015-0192-001

Diemen — Bijl.: 3-A

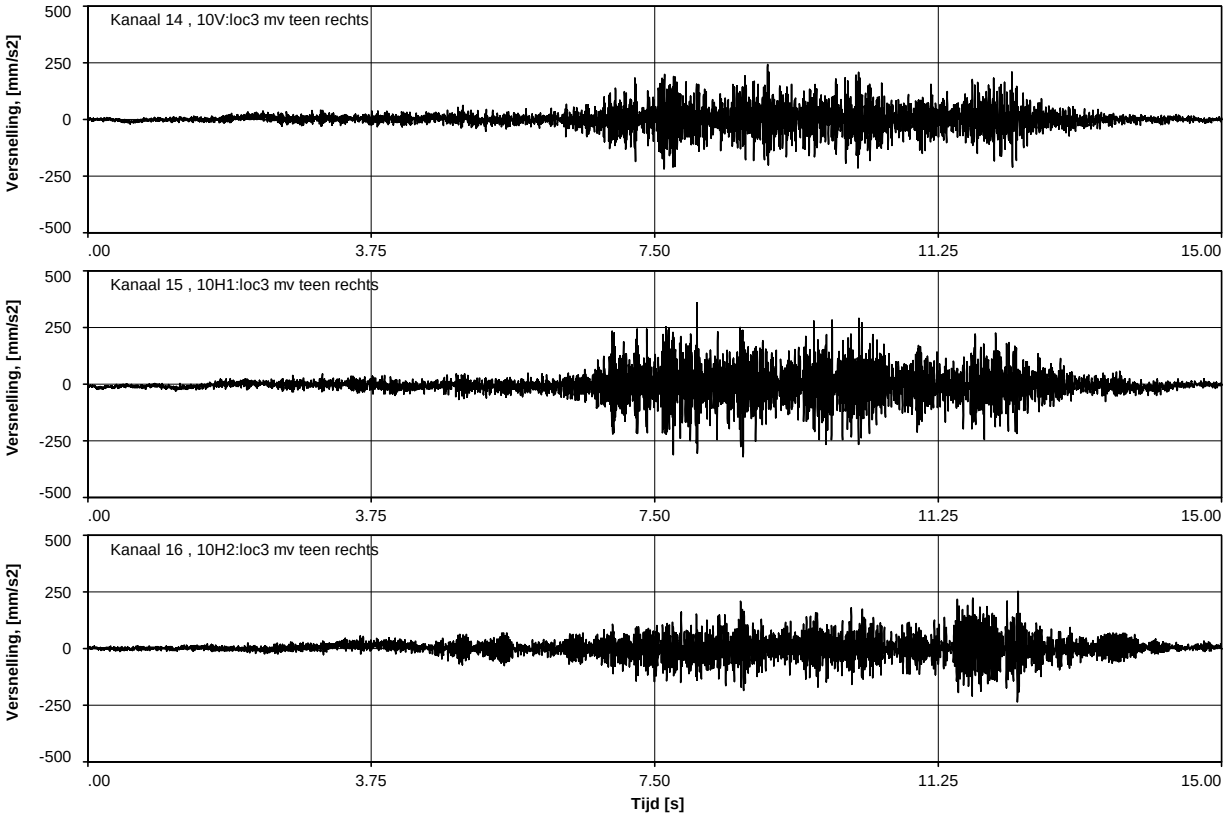


Bestand: loc3metrod.005
Opmerkingen: metro-->D
Datum: 17/06/15 10:57

GRAFIEK TRILLINGSREGISTRATIE

Eekholt 4, locatie 1 tm 3 representatieve passages — Opdr.: 1015-0192-001

Diemen — Bijl.: 3-B



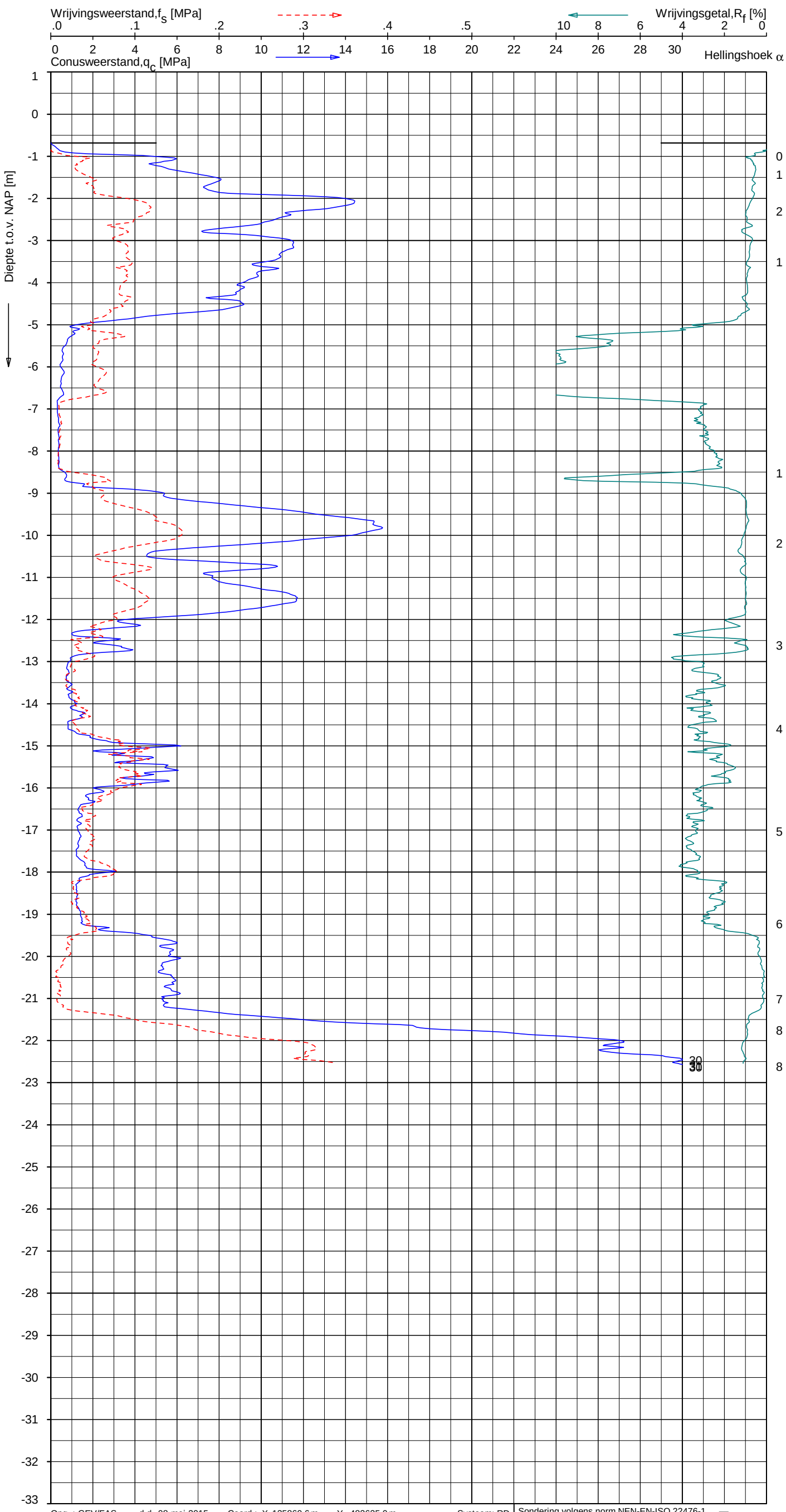
Bestand: loc3metrod.005
Opmerkingen: metro-->D
Datum: 17/06/15 10:57

GRAFIEK TRILLINGSREGISTRATIE

Eekholt 4, locatie 1 tm 3 representatieve passages — Opdr.: 1015-0192-001

Diemen — Bijl.: 3-C

SONDERINGEN



Indicatieve bodembeschrijving

Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)

- ZAND tot ZAND, grindig
- ZAND, zwak siltig tot siltig
- ZAND, zwak siltig tot siltig
- ZAND tot ZAND, grindig
- ZAND, zwak siltig tot siltig
- KLEI, siltig / LEEM
- VEEN
- VEEN
- VEEN, organisch materiaal
- KLEI, zwak siltig tot siltig
- VEEN
- ZAND, zwak siltig tot siltig
- ZAND, zwak siltig tot siltig
- KLEI, zwak siltig tot siltig
- KLEI, zwak siltig tot siltig
- KLEI, zwak siltig tot siltig
- KLEI, siltig / LEEM
- KLEI, zwak siltig tot siltig
- KLEI, zwak siltig tot siltig
- KLEI, zwak siltig tot siltig
- ZAND, zwak siltig tot siltig

Opg. : GEV/FAS d.d. 08-mei-2015 Coord.: X=125860.6 m Y= 482625.0 m Systeem: RD
Get. : VALKF d.d. 18-mei-2015 MV = NAP -0.68 m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2042

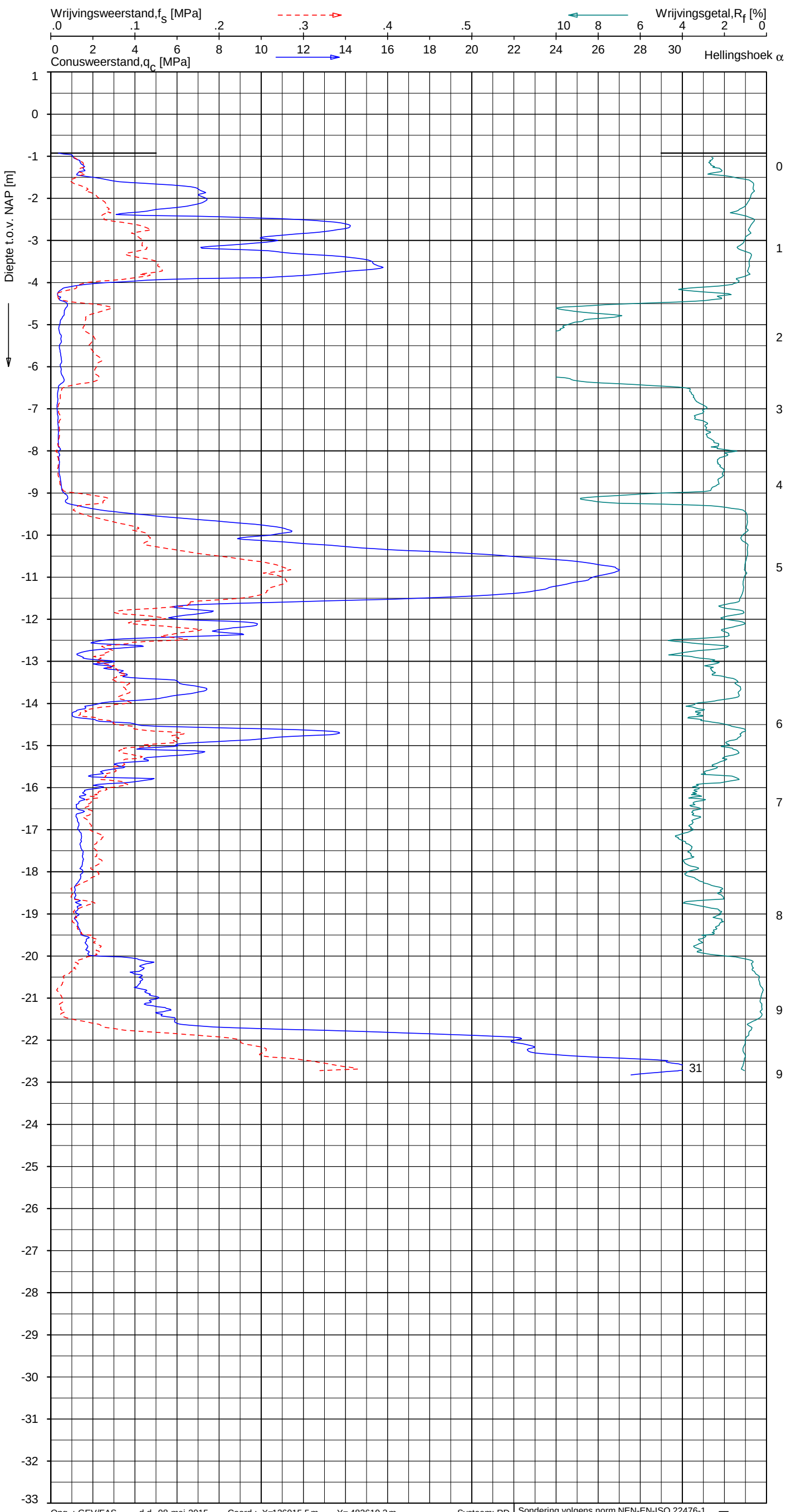
Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
Toepassingsklasse 2. Test type TE1
Conustype: A_c = 1510 mm^2; A_s = 19895mm^2

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

TRILLINGSMETING TE DIEMEN

Opdr. 1015-0192-000
Sond. DKMC1

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



Indicatieve bodembeschrijving

Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)

- ZAND, vast / ZAND, kleiig
- ZAND tot ZAND, grindig
- ZAND, zwak siltig tot siltig
- ZAND tot ZAND, grindig
- ZAND, zwak siltig tot siltig
- ZAND tot ZAND, grindig
- ZAND, zwak siltig tot siltig
- VEEN
- VEEN, organisch materiaal
- VEEN, organisch materiaal
- VEEN
- KLEI, zwak siltig tot siltig
- VEEN
- ZAND, zwak siltig tot siltig
- KLEI, siltig / LEEM
- ZAND, zwak siltig tot siltig
- KLEI, zwak siltig tot siltig
- ZAND, zwak siltig tot siltig
- KLEI, siltig / LEEM
- KLEI, zwak siltig tot siltig
- KLEI, zwak siltig tot siltig
- KLEI, zwak siltig tot siltig
- KLEI, zwak siltig tot siltig
- ZAND, zwak siltig tot siltig

Opg. : GEV/FAS	d.d. 08-mei-2015	Coord.: X=126015.5 m	Y= 482619.3 m	Systeem: RD	Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
Get. : VALKF	d.d. 18-mei-2015	MV = NAP -0.93 m	Conus: CP15-CF75SN2	1701-2042	Toepassingsklasse 2. Test type TE1
					Conustype: A_c = 1510 mm^2; A_s = 19895mm^2

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

TRILLINGSMETING TE DIEMEN

Opdr. 1015-0192-000
Sond. DKMC2

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

1015-0192-000

DKMC2 - 1

Trilingsreducerende maatregel, Trillingscherm
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 (trillingscherm) dan wel in de nieuwbouw kunnen een optie zijn, waarbij verwacht wordt dat de maatregel trillingscherm in het medium economisch gezien het aantrekkelijkst is. Geadviseerd is in het medium ter hoogte van de draagconstructie / gevel een trillingscherm toe te passen. Gedacht wordt aan een polystyreen scherm (piepschuim PS) van enige afmetingen (dikte en diepte) dat direct naast de fundering aangebracht wordt.

Ter dimensionering van het trillingscherm in de grond is voor locatie 1 een benodigd reductie percentage van 52% afgeleid. Voor locatie 2 is een reductie van 71% en voor locatie 3 een reductie van 70% benodigd.

De dimensionering van het trillingscherm is uitgevoerd met het eindige elementen programma PLAXIS. Separaat zijn de berekeningsresultaten gerapporteerd (rapport 1015-0192-001.R02). Als input voor de berekeningen is een van een totaal trillingssignaal van een metropassage een representatief deel als belasting op het model opgelegd. Het totale signaal bevat alle wielpassages van een enkele metro.

Trillingsoverdracht in de ondergrond
Door het passeren van een metrostel 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 trillingsenergie 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.

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 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 enig 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.

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

Bepaling $v_{eff,max}$
De maximale effectieve waarde van de trillingsnelheden 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 $v_{eff,max}$ te bepalen als het maximum van de grootste effectieve waarden in de betreffende beoordelingsperiode. CUR-166 geeft als richtlijn voor het uit te voeren procedé, dat:

$v_{eff,max}$ [-] = 0,42 à 0,64 x v_{piek} [mm/s]

In geval van continue trillingen geldt een factor van 0,64. In geval van 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 $v_{eff,max}$, wordt bepaald over het aantal tijds-intervallen van 30 seconden binnen een beoordelingsperiode, dag, avond of nacht [-]. Uit de gegeven aantallen per tijdsinterval en de maxima $v_{eff,max}$, voor ieder tijdsinterval van 30 sec wordt v_{per} bepaald volgens:

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

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