



FUGRO NL LAND B.V.

Veurse Achterweg 10
2264 SG Leidschendam
Postbus 63
2260 AB Leidschendam

Hoogheemraadschap van Delfland
t.a.v. de Heer ing. A. van Schoonhoven
Postbus 1002
3130 EB Delft

Uw ref.:
Onze ref.: 6421-205846.B01V03/ASN

Betreft: Beschouwing verkeerstrillingen Dorpsstraat te Schipluiden

27 juni 2022

Geachte heer Van Schoonhoven,

In opdracht van het Hoogheemraadschap van Delfland heeft Fugro de onderstaande vraagstelling beantwoord.

“Heeft de kadeverbetering tot een verandering van de situatie t.a.v. trillingen geleid”?

Tijdens een intakebespreking d.d. 01 december 2021 voor opdracht tot het schrijven van voorliggend rapport, waarbij zowel Fugro als Hoogheemraadschap Delfland aanwezig waren, is de situatie doorgesproken. Met voorliggende beschouwingen wordt ingegaan op het aspect trillingen en met name op de vraag of door de kadeverbetering de trillingen veroorzaakt door passerend (zwaar) verkeer zijn toegenomen (beleving ervan).

1) Situatie

In opdracht van het Hoogheemraadschap van Delfland is een kadeverbetering in het oude dorpscentrum van Schipluiden uitgevoerd (Project 702021, Schipluiden (Dorpsstraat, waterkerende constructie, regionale kering met trajectkode RK113-240 en RK113-250).

Een groot gedeelte van de kadeverbetering (beide zijde van het water de Gaag) is inmiddels gereed (situatie oktober 2021). Trillingen door passerend (zwaar) verkeer waren voorafgaand aan de uitvoering van de kadeverbetering in lichte mate / sporadisch voelbaar in de woningen (en niet in de tuin). Na uitvoering van de kadeverbetering wordt door bewoners aan de Dorpsstraat geklaagd dat de trillingen veroorzaakt door passerend (zwaar) verkeer zowel voelbaar zijn in de woningen als ook voelbaar zijn in de tuin. Personenauto's, bestelbusjes en onbeladen trekkers vallen niet onder zwaar verkeer, vrachtauto en beladen trekkers wel. Dat wordt als hinderlijk ervaren, en men vreest dat de trillingen ook tot schade aan de woningen leidt. Bewoners wonende aan de Vlaardingsekade en de Singel geven aan dat zij de trillingen na uitvoering van de kadeverbetering nu minder ervaren.

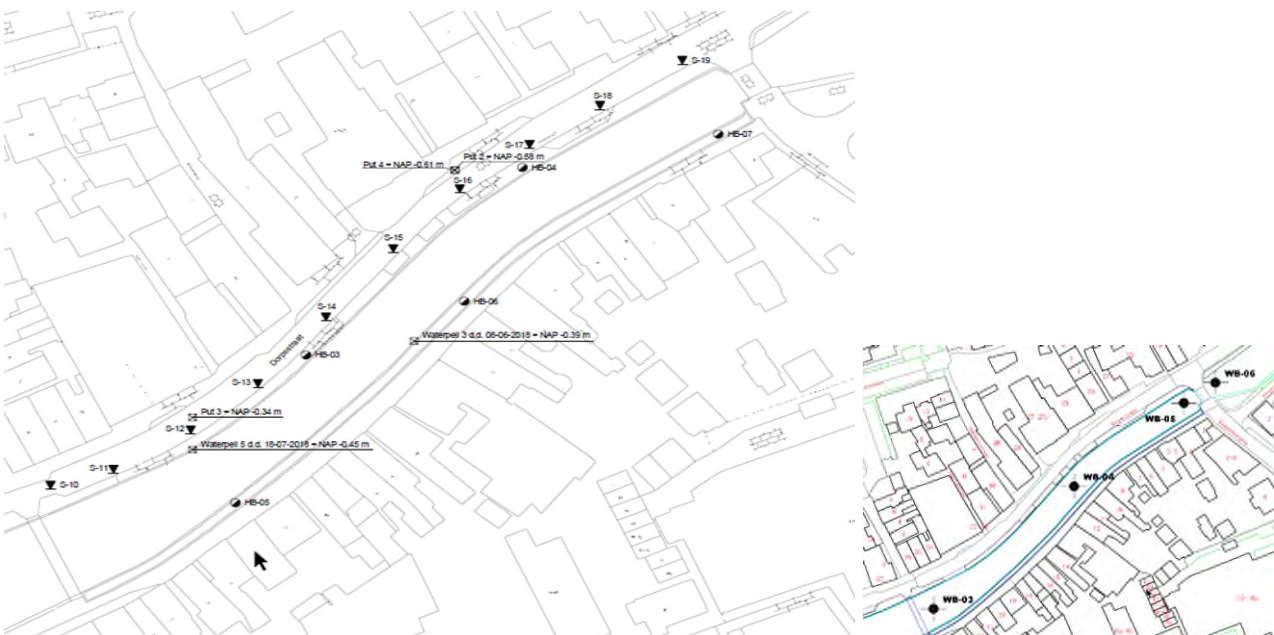
In onderstaande figuur is de projectlocatie weergegeven.



Figuur 1: Projectlocatie verkeerstillingoverlast

2) Grondgesteldheid

In juli 2018 is door Fugro op projectlocatie grondonderzoek uitgevoerd. (onder nr 1214-0070-011). In onderstaande figuur zijn de onderzoekslocaties aangegeven, in de bijlagen zijn 2 representatieve sonderingen opgenomen. Daarmee is inzicht in de grondgesteldheid verkregen.



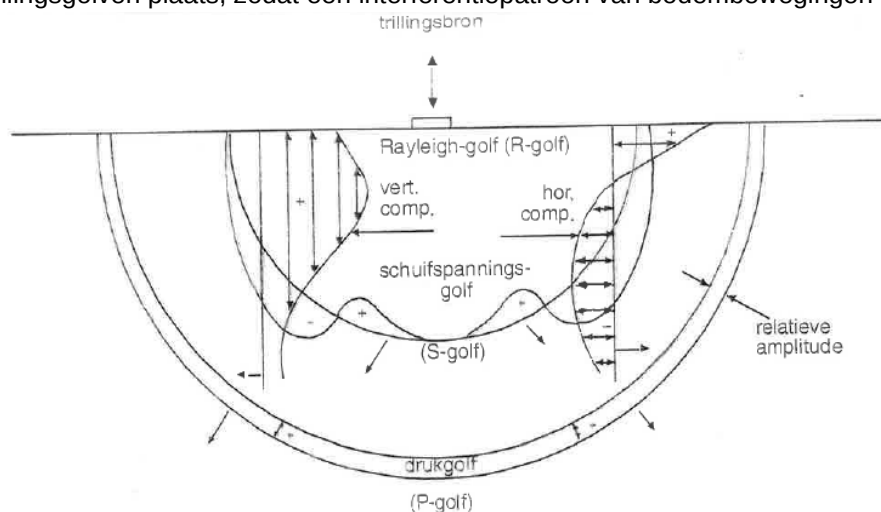
Figuur 2: Grondonderzoekslocaties (Fugro 1214-0070-011)

Op grote lijnen bestaat de ondergrond onder de Dorpsstraat uit een halve meter zand (fundering van de weg), met daaronder een circa 15 m dik samendrukbaar pakket (siltig tot humeuze Klei) met daaronder het Pleistocene zand. Er is geen sprake van een geleidelijke overgang van samendrukbaar pakket naar hard. De grondlaagscheidingen zijn "scherp". Lokaal, over een strekking van circa 25 m tot 35 m (huisnrs 28 / 29), is een siltige tussenzandlaag van circa 3 m dikte aanwezig.

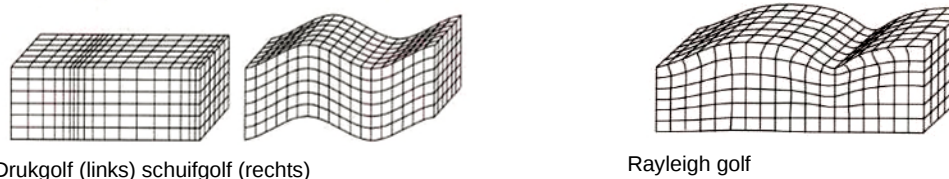
3) Mechanisme trillingen

Bij trillingen is er sprake van een trillingsbron (verkeer), een medium dat de trillingen doorgeeft (wegconstructie/grond) en een ontvanger (woning/object bv damwand)). Bij de bron worden de trillingen in de grond opgewekt. De ontvangst van de trilling (aanstoot) van de woning ligt op funderingsniveau. Afhankelijk van de wijze van funderen is dit op de funderingspalen of op de funderingselementen bij een fundering op staal.

Wanneer verkeer passeert over een oneffenheid/ruw oppervlak/wegdek/drempel veroorzaakt deze trillingen in de wegconstructie en ondergrond. Er ontstaan trillingsgolven die zich in alle richtingen (kunnen) voortplanten (onderstaande figuur). Komen de trillingsgolven aan de oppervlakte, bij een laagovergang (=stijfheidsverschil) of bij een fundering van een woning, dan vindt hier reflectie en omzetting van de trillingsgolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat.



→ voortplantingsrichting van de golf
 ↔ bewegingsrichting van een gronddeeltje tijdens het passeren van een golf



Figuur 3: Verspreiding van, en verschillende trillingsgolven

Gronddeeltjes bewegen bij de Rayleighgolf in een cirkelbeweging, bij een drukgolf heen en weer en bij een schuifgolf op en neer. De Rayleighgolf is levert de maatgevende trillingsbelasting op de ontvanger.

De grootte van de (grond)beweging wordt bepaald door de kracht van de bron (aanstoot), door de bodemopbouw (stijfheidsverschillen en grondwaterniveau) en de afstand tot de bron. Doorgaans nemen de bewegingen, c.q. de maximale amplitude van de beweging (golf), af door materiaaldemping en bij toenemende afstand tot de bron (geometrische demping). De factoren die invloed hebben op de intensiteit van de trillingen bij de woning zijn: Eigenschappen van de ondergrond;

- Afmetingen / dimensies van de wegconstructie / vlakheid wegdek (wegvlakheid en stijfheid constructie);
- Energie die het passerend verkeer in de ondergrond aanbrengt.
- Reflectie / refractie vlakken (diepteligging en grootte van stijfheidsverschillen)

De mate van reflectie van golven wordt bepaald door de karakteristieken van de trilling (amplitude en golffrequentie / golflengte) tezamen met de "pasbaarheid" van de trillingsgolf in de omgeving (passend is als de lengte van de trillingsgolf evengroot is al de afstand tussen bron en ontvanger). Indien de reflectielocatie nabij een buik van de golf ligt, zal een staande golf optreden waarbij dan de grootte van de amplitude kan verdubbelen (extra opslinging). Ligt de reflectielocatie nabij een knoop van de golf dan treedt nagenoeg geen opslinging op.

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

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

Voor het bepalen van de hinderbeleving, voelbare trillingen, zijn de trillingsintensiteiten binnen op de vloeren van belang. Bij overdracht van trillingen van de bodem naar de funderingselementen en de draagconstructie treedt een zekere mate van demping op. Bij de overdracht vanuit de draagconstructie naar die op vloeren en ondersteunende onderdelen treedt enig opslingereffect op (lees vergroting van de amplitude). Hier heeft de constructiewijze van de woning (bv houten vloeren) grote invloed op. Woningen gefundeerd op staal zijn gevoeliger dan woningen gefundeerd op palen, er treedt minder demping op bij funderingen op staal dan bij funderingen op palen bij de overdracht van trillingen vanuit de grond naar de draagconstructie.

4) Aspecten

Om te bepalen of de trillingen veroorzaakt door het passerend verkeer (sterk) voelbaar zijn op de vloeren binnen in de woning, zijn de volgende aspecten van belang:

1) Verkeer

Al dan niet aanwezig zijn van zwaar verkeer (vrachtauto's en beladen trekkers). Het passerend verkeer levert een aanstoot op maaiveld (niet op diepte zoals bij heien van palen het geval is). Hogere trillingsintensiteiten treden eerder op bij zwaar verkeer dan, in vergelijking met, door personenauto verkeer. Van belang zijn de karakteristieken van de optredende trilling. Een trilling opgewekt door zwaar verkeer (vrachtauto / beladen trekker) heeft vaak een lagere dominante frequentie (en hogere amplitude) dan die van een personenauto.

2) Wegvlakheid

Omdat de weg (Dorpsstraat) voorzien is van een klinkerbestrating (= ruw wegdek), treden eerder trillingen in de wegconstructie op (er is nl een aanstoot mogelijk) dan, in vergelijking met, een asfaltbestrating (=glad). Een asfaltbestrating heeft weinig aanstootmogelijkheden). Als putdeksels van riolen o.i.d. in het rijvlak aanwezig zijn, levert dit een aanstoot mogelijk op.

3) Wegconstructie

De wegconstructie (opbouw van zand/granulaat/vlijlaag bestrating) wordt bepaald door de verkeersbelasting (verkeersklasse etc). Een stijvere fundering, benodigd voor zware aslasten, bevat vaak een grotere funderingsdikte waardoor voor minder doorgave van trillingen optreedt.

4) Ondergrond

De samenstelling / gelaagdheid van de ondergrond heeft grote invloed op de afdracht van trillingen aanleiding. Bij een zanderige ondergrond is de demping laag en is de trilling tot grote afstand vaak nog aanwezig. Daarentegen is amplitude nabij aanstoot vaak laag. In samendrukbare ondergrond is de demping groot en is de trilling op grote afstand nagenoeg niet meer te merken. Daarentegen is nabij de aanstoot de amplitude vaak groot. Afhankelijk van de combinatie van zanderige lagen (dikte en (hoge) stijfheid) met samendrukbare lagen (dikte en (lage) stijfheid, worden trillingsgolven meer of minder gereflecteerd dan wel geretracteerd (afgebogen). In deze heeft de hoogteligging van de grondwaterstand invloed (= scheidingsvlak).

5) Woning

De "ontvankelijkheid" van de trilling is afhankelijk van de constructiewijze van de woning. Omdat het voegsel van oudere gemetselde woningen minder sterk is, zijn oudere woningen gevoeliger dan recent gemetselde woningen. In voorliggende case wordt geen onderscheid in ouderdom van woningen gemaakt. Daarnaast, woningen bestaande uit beton "voelen" trillingen minder dan gemetselde woningen. Woningen met houten vloeren reageren heftiger op trillingen dan betonvloeren. Woningen gefundeerd op staal (geen palen aanwezig) zijn ontvankelijker dan woningen gefundeerd op palen. Van belang is de eigen frequentie van de woning in relatie tot de karakteristieken van de aanstotende trilling. Is de eigenfrequentie van de woning vergelijkbaar met de dominante frequentie van de aanstotende trilling, dan treedt opslinging op en wordt de trilling binnen goed voelbaar.

5) Verschil situatie vooraf / nadien

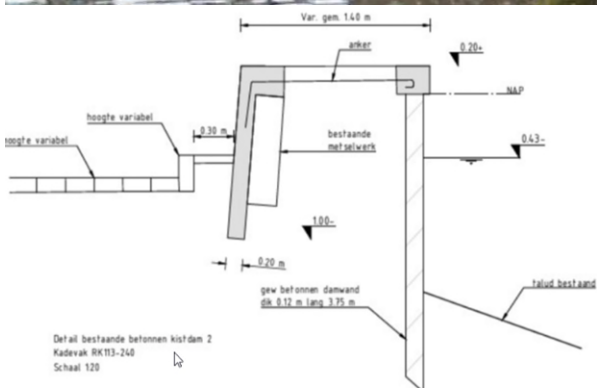
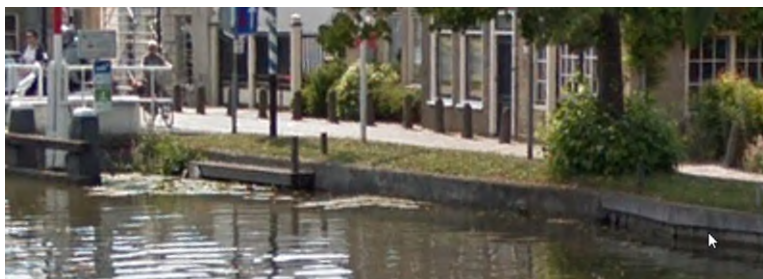
Om te kunnen bepalen of er sprake is van een toename van voelbare trillingen dient een vergelijking tussen de situatie voorafgaand en nadien de uitvoering van de kadeverbetering gemaakt te worden. In de bijlagen zijn figuren opgenomen met een impressie van de situatie voorafgaand (en nadien) aan de kade verbetering opgenomen (bron: Google Earth, Streetview)

Resume vergelijking situatie vooraf / nadien

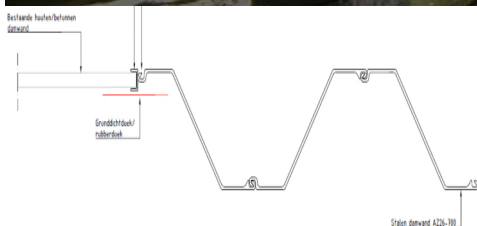
Uit de vergelijking volgt het volgende:

- 1) verschillende kade uitvoering (betonnen beschoeiing (3 m) versus damwand (12 m) met verticale draagkracht);
- 2) weg bestrating ongewijzigd (klinkerbestrating)
- 3) kerende hoogte kade vergroot (berm van de kerende kade is niet noemenswaardig veranderd)
- 4) oudere bomen vervangen door jongere exemplaren.

Ad 1. In vergelijking tussen de kadeconstructies vooraf en nadien zijn met het wijzigen van de kade constructie verschillende dikten en stijfheden aangebracht. Voorafgaand aan de uitvoering was een betonnen beschoeiing van 3 m (met houten gording) aanwezig (figuur 4). Daarmee is, over beperkte dikte, een bepaalde stijfheid aanwezig. Nadien (figuur 5) is een met een deksloof afgewerkte stalen damwand AZ26-700 (lengte 13 m) aangebracht waarbij op regelmatige afstand (circa 5,5 m) een Waalpaal is geïnstalleerd, waarmee de damwand een verticaal draagvermogen heeft gekregen. De Waalpaal is in de kassen van het AZ-profiel aangebracht. Dit houdt in dat nadien over een grotere diepte een hogere stijfheid met een dikker profiel aangebracht is.

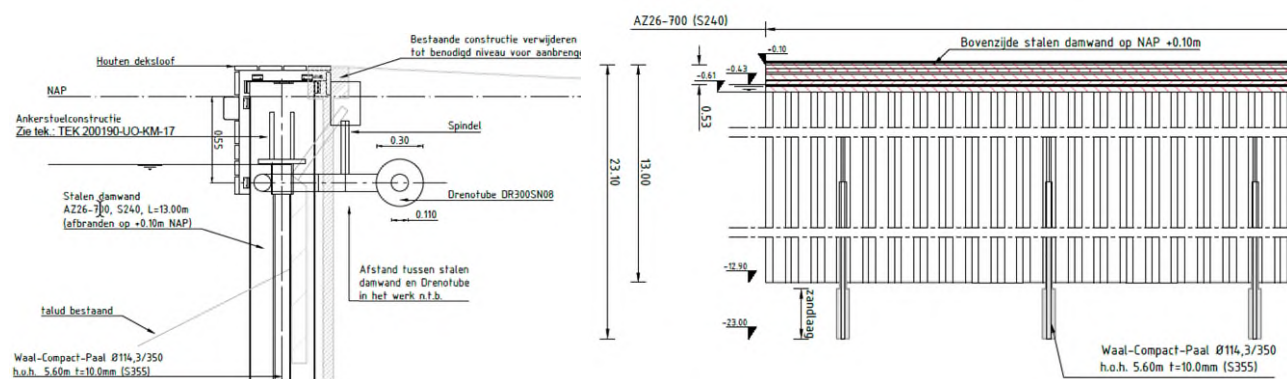


Figuur 4: Betonnen beschoeiing (voorafgaand aan het werk)



Figuur 5: Afgewerkt stalen damwand (nadien het werk)

Opgemerkt wordt dat de damwanden trillingsarm zijn aangebracht (met een Silent Piler Stelling). Tijdens de installatie is veel puin in de ondergrond tegengekomen, waardoor de installatie moeizaam is verlopen. Het voormalig lokaal aanwezig puin zal enig effect hebben gehad op reflecties van trillingen, situatie voorafgaand aan uitvoeringswerkzaamheden (verwachting, is niet bewezen).



Figuur 6: Kadeconstructie, combinatie AZ26-700 damwand profiel tezamen met Waalpaal Ø 114 mm

Ad 2. De bestrating is op delen opnieuw aangebracht. Enige verbetering (minder aanstoot) is daarmee verwezenlijkt.

Ad 3. Met het aanbrengen van de nieuwe kadeconstructie is de kerende hoogte vergroot. Het (kleine) hoogteverschil volgt o.a. uit vergelijking van figuren 1b en 2b (uit de bijlage).

Ad 4. Met het vervangen van de oudere bomen door jongere exemplaren is indirect de hoogteligging van de grondwaterstand rondom de bomen veranderd. Oudere bomen trekken n.l. meer water naar zich toe dan jongere waardoor in de voorgaande situatie de grondwaterstand nabij de kering enigszins lager kan hebben gelegen dan dat deze nu is (afgezien van mogelijke aanvoer vanuit de Gaag). In deze levert een hoge grondwaterstand nabij de damwand een groter reflectie op dan een lage grondwaterstand (het verhang naar het achterland heeft invloed). Met de toepassing van de drenotube is dit effect geminimaliseerd (situatie vooraf vergelijkbaar met situatie nadien). Uit peilbuismeetregistraties (peilbuizen geplaatst nabij de woningen) blijkt eveneens dat er geen wijziging in grondwaterstandsniveau is opgetreden.

6) Dorpsstraat, beschouwing trillingen (bron → medium → ontvanger)

(Bron). Door het passerende zware verkeer (vrachtauto's / beladen trekkers) rijdend over een klinkerbestrating wordt doorgaans een trilling opgewekt waarvan de frequenties kan variëren tussen 4,5 Hz tot 12,5 Hz (lagere frequenties komen ook voor). Bijbehorende trillingsgolflengten kunnen variëren tussen 5 tot 15 m (Rayleighgolf). Er is sprake van oppervlakte trillingsgolven (geen op diepte opgewekte trillingsgolven).

(Ontvanger). De eigen frequentie van gemetselde woningen gefundeerd op staal kan variëren tussen 2 tot 5 Hz. Er is sprake van een fundering op staal (lees ondiep gefundeerd).

(Medium). Omdat zowel de opgewekte trillingsgolven aan het oppervlak optreden en de woningen ondiep gefundeerd zijn (lees aan het oppervlak), kunnen de trillingengolven tot hinderlijke/voelbare trillingen leiden. Daarnaast, gezien de aanwezige grondslag (dikte van de grondlagen) "passen" de opgewekte golflengten redelijk. Met andere woorden een opgewekte trilling(sgolf) zal goed kunnen reflecteren op de aanwezige grondlaag scheiding samendrukbaar/stijf. De aanwezige tussenzandlaag zorgt ervoor dat daarop een eerdere reflectie optreedt hetgeen leidt tot minder waarneembare trillingen. Omdat de afstand van de gevels tot aan de as van de weg circa 5 m bedraagt en er sprake kan zijn dat de trillingsgolf "past", is het aannemelijk dat een opgewekte trilling in de wegconstructie voelbaar zou kunnen zijn binnen op de vloer. Of sprake is van risico op schade (aan de draagconstructie) is afhankelijk de optredende trillingsamplitude. Vanuit de praktijkervaring is bekend dat in 95% van de (meet)gevallen er geen risico op schade door verkeerstrillingen is (op afstanden groter dan 5 m).

In de situatie voorafgaand aan de kadeverbetering spreiden de opgewekte trillingsgolven grotendeels naar alle richtingen uit. De betonnen beschoeiing is dusdanig van afmeting (dun en kort 3 m) dat daaruit geen (tot marginale) reflectie uit voortvloeit. De betonnen beschoeiing heeft wel een hogere stijfheid dan de omgeving ervan.

In de situatie na aanbrengen van de kadeconstructie is over grotere dikte (in vergelijking met de betonnen beschoeiing) de stijfheid sterk vergroot. Door de combinatie van een lange damwand (12 m) tezamen met palen is een “trillingscherm” ontstaan. Door dit “trillingscherm” worden de opgewekte trillingen gereflecteerd. Gezien de golflengten en de afstand tussen “scherm” en woningen “passen” de golflengten waardoor deze extra gereflecteerd (lees opgeslingerd) worden. Optredende trillingsamplitudes worden deze beter / meer gevoeld binnen op de vloer. Mede omdat de dominante frequentie van de aangeboden trilling vergelijkbaar is met de eigen frequentie van de woning.

Opmerking m.b.t. invloed lengte van de damwand

De oorspronkelijk betonnen beschoeiing was circa 3 m lang, het ontwerp ging uit van circa 6 m damwand (zonder palen). Uiteindelijk zijn 12 m lange damwanden tezamen met palen toegepast Dit i.v.m. de installatietechniek Silent Piler die uit “eigen werk” de nodige trekkracht moet halen en dat met niet gehaald kon worden met 6 m lange planken. Met de kortere damwandplanklengte van 6 m tezamen dat geen palen in het ontwerp waren voorzien, is de verwachting dat in mindere mate sprake zou zijn van een trillingscherm. In vergelijking met de oorspronkelijke 3 m lange beschoeiing zou enige toename van trillingen mogelijk zijn, echter minder dan in vergelijking met de 12 m damwandlengte (tezamen met de palen).

7) Vlaardingsekade / Singel, beschouwing trillingen (bron → medium → ontvanger)

Over de Vlaardingsekade wordt niet gereden (er is geen passerend verkeer). Enige verkeerstrillingen kunnen alleen vanuit de Dorpsstraat komen (achterliggende wegen in de wijk liggen te ver weg om enige invloed op te leveren).

Wordt de situatie vanuit de zijde van de Vlaardingsekade beschouwd, dan liggen de woningen aan de Vlaardingsekade achter het aangebrachte trillingscherm. Daarbij, aan weerszijde van de Gaag is de kadeconstructie aangebracht, er is sprake van 2 schermen. Dit kan de verklaring zijn dat de trillingen bij de woningen aan de Vlaardingsekade minder gevoeld worden (was ook in de bespreking van 21 december door het Hoogheemraadschap aangegeven).

8) Resume vraagstelling

In antwoord op de gestelde vraag: “Heeft de kadeverbetering tot een verandering van de situatie t.a.v. trillingen geleid” kan het volgende geconcludeerd worden:

- 1) er is een verandering opgetreden. Aan de zijde van de Dorpsstraat is over grotere diepte een verhoogd stijfheidsverschil over een grotere dikte aangebracht. De opgewekte trillingen (door passerend zwaar verkeer) zijn momenteel beter voelbaar zowel in de woning als in de tuin achter de woning.
- 2) Aan de zijde van de Vlaardingsekade / Singel is het omgekeerde het geval, daar worden de trillingen minder gevoeld door bewoners.

9) Hoe verder (maatregelen)

Het minimaliseren van trillingsintensiteiten kan verwezenlijkt worden door het nemen van maatregelen, aan de bron, in de grond of bij de woningen. Het minimaliseren van de overlast wordt verwezenlijkt door te voorkomen dat opslinging kan optreden. Binnen op de vloer wordt de beleving van trillingen geminimaliseerd op het moment dat de woning (eigen frequentie, constructiewijze) niet gevoelig meer is voor de aangeboden trilling (karakteristieken ervan zoals amplitude en frequentie). Op moment dat de karakteristieken van de aangeboden trillingen vergelijkbaar zijn met o.a. de eigen frequentie van de woning, zullen de trillingen binnen op de vloeren goed gevoeld kunnen worden (er treedt opslinging op).

Omdat niet verwacht wordt dat het nemen van maatregelen bij de woning (ontvanger) een optie is, kunnen de “ontvangstcondities” niet beïnvloed worden. Technisch gezien zou een en ander wel mogelijk zijn. Met het nemen van bijvoorbeeld de volgende maatregelen worden de karakteristieken van de aangeboden trilling beïnvloed:

- 1) (bron) Wegvlakheid groter maken.
 - a) ervoor zorgen dat geen kuilen/verzakkingen ed in de klinkerbestrating aanwezig zijn
 - b) klinkers vervangen door asfalt (nadeel er wordt harder gereden)
- 2) (bron) Rijsnelheid verlagen
 - a) dit door versmallingen aan te brengen (dwingen langzaam te rijden)
 - b) obstakels aanbrengen
- 3) (bron) Weren zwaar verkeer

Op moment dat geen zwaar verkeer door de straat rijdt is er eveneens geen aanstoot meer.
- 4) (medium) Funderingsstijfheid weg verhogen
 - a) momenteel is een minimale dikte van 0,25 m aanwezig (volgt uit het grondonderzoek).
 - b) aanbrengen van een geogrid waarmee de wegfundering niet kan uitzakken (bijeengehouden wordt)
- 5) (medium) Scheiden van de weg met woning

door de wegconstructie (bestrating) niet direct aan te laten sluiten op de gevel van de woning wordt voorkomen dat een directe aanstoot vanuit de klinkers optreedt.
- 6) (medium) Aanbrengen van een trillingscherm
 - a) Met het aanbrengen van een Polystyreen scherm van enige dikte (circa 30 tot 40 cm dik) nabij de fundering van de woningen wordt de trilling gereflecteerd. Zoals ook de vernieuwde kadeconstructie doet. Het scherm mag niet dieper dan de onderkant van de funderingselementen in verband met beïnvloeding van het draagvermogen ervan.
 - b) onderstijven van de funderingselementen. Dit is met lansen injecteren van hars of grout direct onder de funderingselementen, waarmee zowel het draagvermogen van de elementen verhoogd wordt als dat er een dik stijfheidsverschil gecreëerd wordt.

De karakteristieken van de aangeboden trillingen (opgewekt door het verkeer) hebben grote invloed op de te nemen maatregelen. Met aanvullende trillingsmetingen, uitgevoerd onder ander op maaiveld / ondergrond van de weg, worden de karakteristieken inzichtelijk gemaakt. Door deze op verschillende afstand tot de woning en aan / in de woning uit te voeren wordt de afdracht / overdracht vanuit grond naar de vloer inzichtelijk. Met de resultaten kunnen de diverse maatregelen gericht beschouwd worden (het effect ervan).

Omdat de weg in beheer is bij Gemeente Midden Delfland en de vernieuwde kadeconstructie van Hoogheemraadschap Delfland geresulteerd heeft in een andere beleving van trillingen bij bewoners, zou het nemen van passende trillingsreducerende maatregelen ter verbetering van de trillingssituatie een gezamenlijke actie kunnen zijn.

Vertrouwende u voldoende geïnformeerd te hebben.

Met vriendelijke groet, :
Fugro NL Land B.V.



ir. A.J. Snethlage
Senior Geotechnical Consultant

Bijlagen:

- A) Impressie situatie
- B) Trillingsmetingen
- C) Trillingsscherp (voorbeeld)
- D) Grondonderzoek (1214-0070-011 S13 en S17)

BIJLAGE A: IMPRESSIE SITUATIE



Figuur 1a: Impressie vooraan Dorpsstraat



Figuur 1b: Impressie vooraan Dorpsstraat



Figuur 1c: Impressie voorgaand Dorpsstraat, nabij brug



Figuur 1d: Impressie voorgaand Dorpsstraat (genomen overzijde Gaag)



Figuur 2a: Impressie nadien Dorpsstraat



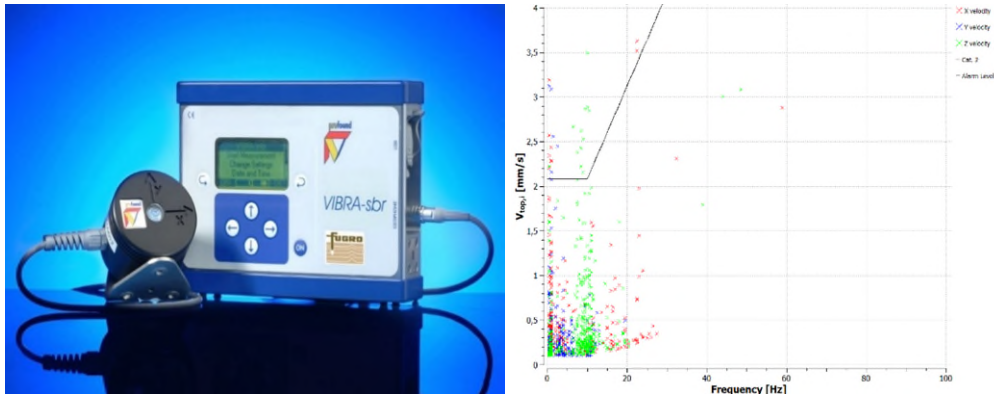
Figuur 2b: Impressie nadien Dorpsstraat



Figuur 2c: Impressie nadien Dorpsstraat

BIJLAGE B: TRILLINGMETINGEN

Doel van de trillingsmetingen is het inzichtelijk maken van optredende intensiteiten. Bij beoordeling (“ernst”) van de trillingen (type A meting) worden metingen gedurende een bepaalde periode (bij verkeer doorgaans 1 week) zowel aan de gevel als op een vloer uitgevoerd. Hierbij worden (onbemande) standalone automatisch registrerende meetsystemen ingezet (onderstaande figuren).



Figuur B1: Type A meting, datalogger en geofoon (opnemer) en meetresultaat (beoordeling SBR A)

Het resultaat van een type A meting (standalone meetsysteem) is, dat geconcludeerd kan worden of wel/niet sprake is van risico op schade (dan wel hinder). In deze wordt voor risico op schade, conform SBR A, een grenswaarde behorende bij een “indicatieve” meting gehanteerd. Voor hinderbeleving, conform SBR B, wordt een streefwaarde A1 gehanteerd.

Bij metingen waar eveneens de overdracht / afdracht in grond en woning bepaald worden (type B meting), wordt een (bemand) meetsysteem ingezet dat versnellingsopnemers hanteert en waar de meetpunten onderling aan elkaar gecorreleerd zijn (onderstaande figuren). Voor het verkrijgen van bruikbare signalen (passages voertuig) wordt doorgaans bij een type B meting een representatief voertuig ingezet dat de meetopstelling meermalen met verschillende rijsnelheden passeert.



Figuur B2: Type B meting, meetpunten op maaiveld en aan de gevel, beeldscherm meetresultaat 5 meetpunten (iedere kleur = 1 meetpunt)

Het resultaat van een type B meting (versnellingen meetsysteem) is (naast hetgeen ook bij een type A meting verkregen wordt), inzicht in de afdracht en overdracht. Uit de resultaten is een reductiepercentage te herleiden om alsnog aan de grens-/streefwaarden te kunnen voldoen en is een invloedsgebied te herleiden (beiden te gebruiken bij dimensionering van maatregelen in de grond).

Prognosemodellen / analyses meetdata

Maatregelen kunnen genomen worden bij de bron (verkeer / wegconstructie) bij de ontvanger (woning) en/of in de grond tussen bron en ontvanger in. Voor het analyses / effectbepalen van de beoogde maatregel(en) staan verscheidene prognosemodellen ter beschikking. Voor het analyseren van effecten bij de bron of in de grond is onderscheid te maken in complexe situaties (1) of eenvoudige situatie (2).

Ad 1, complexe situaties

Op het moment dat de situatie complex is (verschillende reflecterende grondlagen/ kelders/ etc) wordt geadviseerd de situatie te analyseren met de Eindige Elementen Methode PLAXIS. Een gemeten signaal wordt dan als belastingsignaal op het grondmodel aangebracht, waarna de effecten van beoogde maatregelen geanalyseerd kunnen worden. Dit soort dynamische berekeningen vergen de nodige inspanning en hebben een lange doorlooptijd.

Ad 2, eenvoudige situaties

Voor minder complexe situatie wordt onderscheid gemaakt in effecten van mogelijke (trillingsreducerende) maatregelen bij de bron (en minder bij de ontvanger) dan wel in de grond. Effecten van maatregelen bij de bron kunnen geanalyseerd worden met het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel prognosemodel. Beschouwd kunnen worden:

- effecten van de wegconstructie (laagdikte / wegvlakheid)
- effecten van een verkeersdrempel (zo die er is of niet)
- effecten van verkeer (verschillende voertuigen / rijsnelheden)
- op grote lijnen, effecten van de woning (stijfheidsveranderingen / overspanningen).

Omdat de berekeningen op verschillende afstanden (bron/ontvanger) uitgevoerd worden, volgt eveneens een mogelijke grootte van het invloedsgebied.

Voor effecten van maatregelen in de grond tussen bron en weg staat de trillingen prognosemethodiek zoals deze is opgenomen in het handboek CUR 166 “*Damwandconstructie*” centraal. Met de methode zijn prognoses versus de afstand te maken voor trillingswaarden in de grond, aan de draagconstructie en op vloeren. Uit de vergelijking van de prognoseswaarden en de limit waarden volgt voor een gegeven afstand een benodigd reductie percentage dat vervolgens gebruikt wordt ter dimensionering/ effecten van een trillingscherm.

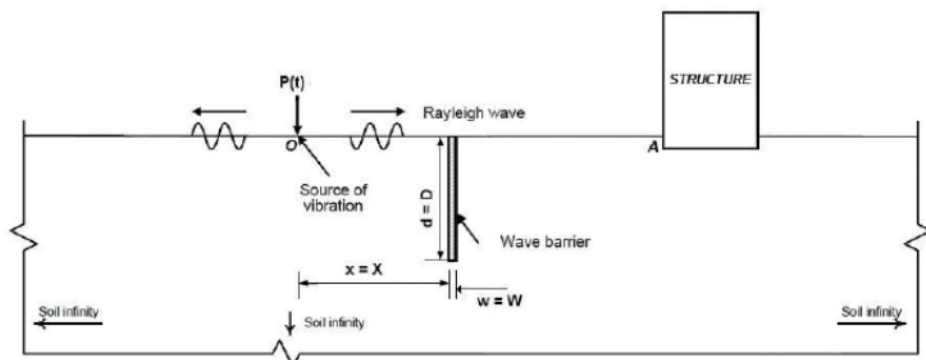
Bij zowel de prognoses van VP-drempel als van het CUR 166 model, worden de verkregen trillingsmeetresultaten ter iking van het prognosemodel gebruikt. Volgend uit de analyses kan per maatregel (of combinatie van maatregelen) een vertaling gemaakt worden naar de projectlocatie. Hierbij spelen grootte van invloedsgebieden en afstanden waarop de woningen staan een rol.

Verkeerstellingen / streefwaarde SBR B

Het aantal passages (verkeerstellingen) van de passerende voertuigen (type) kan invloed hebben op de beoordeling op hinderbeleving (SBR B). Liggen de meetwaarden onder een ondergrens dan is geen hinderbeleving aan de orde. Liggen de meetwaarden boven een bovengrens dan is hinderbeleving aan de orde (onafhankelijk van het aantal passages). Liggen de meetwaarden boven de ondergrens maar onder de bovengrens dan is hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling (=passage) zich voordoet. Met verkeerstellingen wordt inzicht verkregen in passerende voertuigtypen, rijrichtingen, rijksnelheden en aantallen ervan. Indien geen tellingen beschikbaar zijn, kan van de aantallen een schatting gemaakt worden op basis van opgeslagen aantal meetsignalen (=passages).

BIJLAGE C: TRILLINGSCHERM (voorbeeld)

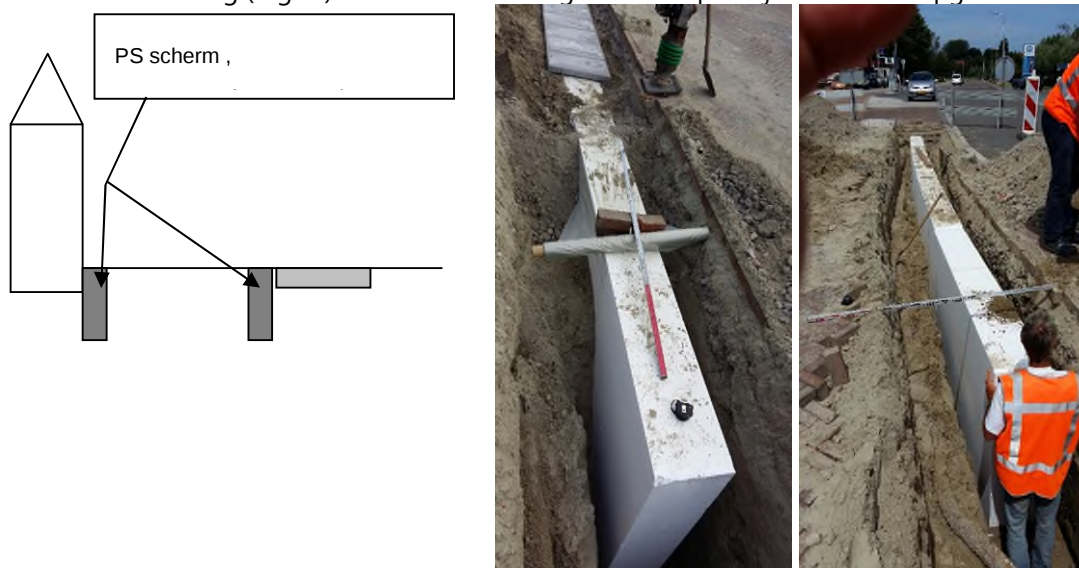
Met een geplaatst trillingscherm wordt de transmissie van de trillingen vanuit de wegverharding naar de fundering van de woning verhinderd. De werking van een trillingscherm is gebaseerd op reflectie/ refractie van een trillingsgolf. Van invloed zijn de karakteristieken van de inkomende trilling (amplitude en frequentie), de locatie van het scherm in relatie tot de golf(lengte) en de dimensies van het scherm (dikte en diepte). In onderstaande figuur is het principe weergegeven.



Figuur B3: Principe trillingscherm

Uit de literatuur (en praktijk) is bekend dat met het aanbrengen van een trillingscherm een redelijke tot goede reductie van de trillingsintensiteiten optreedt direct achter het "scherm". Het grootste effect wordt verkregen met een scherm dicht tegen de fundering van de woning dan wel direct naast de weg (bron).

Het scherm dient beschermd te worden tegen (milieu)technische invloeden (bijvoorbeeld oliën) en afgedekt te worden met een beschermlaag (tegels). In onderstaande figuur is een praktijk voorbeeld opgenomen.



Figuur B4: Voorbeeld plaatsing scherm tussen weg en pand

Een breed ondiep scherm levert een grotere reductie op dan een smal diep scherm. Omdat de golflengte van de oppervlakte golven van verkeerstrillingen erg lang kan zijn (> 10 m), zal bij een ondiep scherm een substantieel deel van de golfenergie (Rayleigh golven) onder het scherm, 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.

De dimensies van het scherm zijn mede afhankelijk van het benodigde reductiepercentage om aan de grenswaarde (of streefwaarde) te voldoen. Het benodigde reductiepercentage volgt uit een analyse van de meetdata en de grens- c.q. streefwaarde A1.

Opgemerkt wordt dat alleen op basis van het ontwerp van een trillingsschermb (dat van diverse factoren afhankelijk is), geen garantie kan worden afgegeven op een te realiseren reductiefactor. Geadviseerd wordt om na het aanbrengen van een trillingsschermb een herhalingsmeting te laten uitvoeren naar de effectiviteit van het scherm.



BIJLAGE D: GRONDONDERZOEK

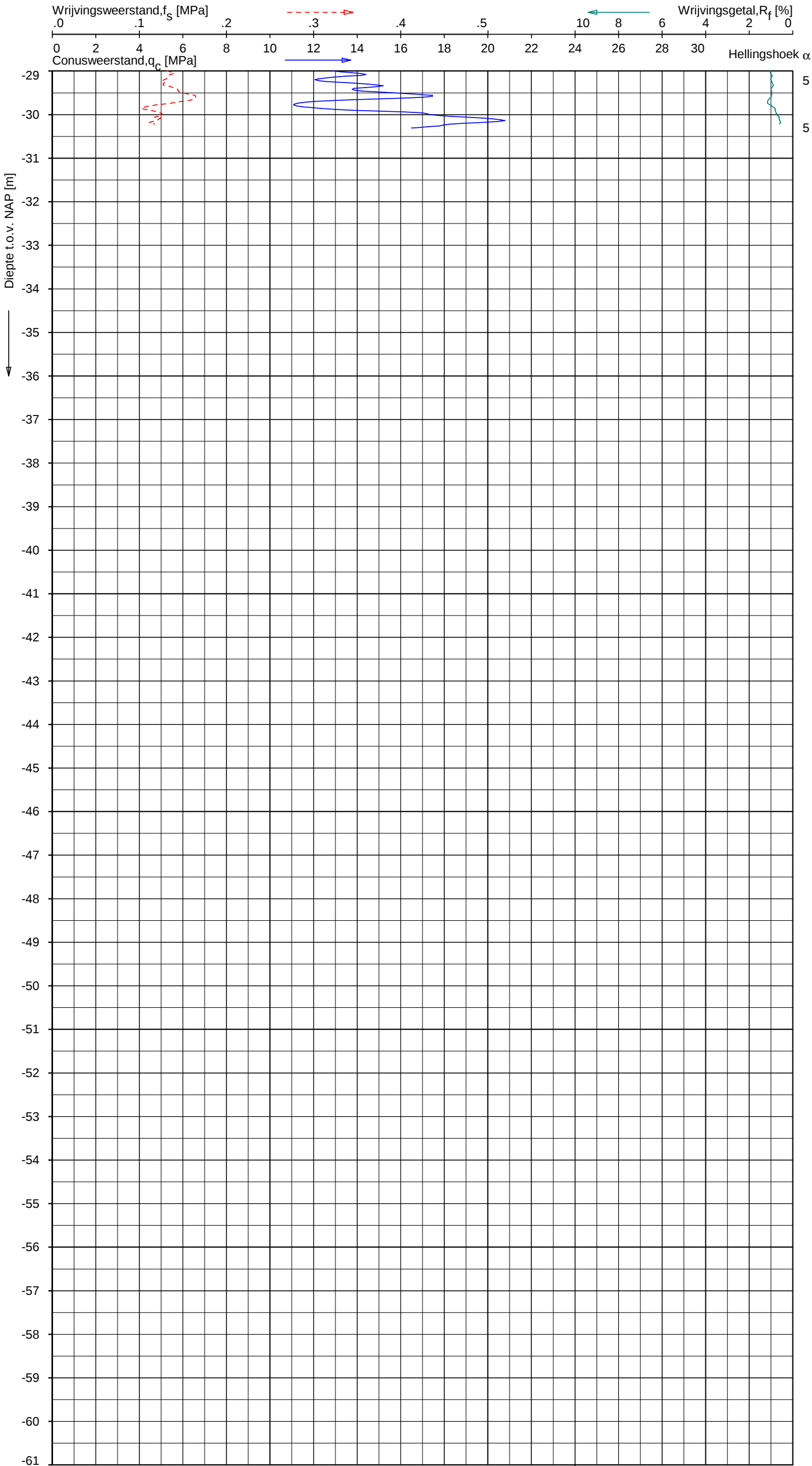
1214-0070-011 S13 en S17

[illegible]

UNIPLOT 05.35.nl / QoFClass-R3.cmd / 2018-07-25 11:04:53

1214-0070-011

S-13 - 2



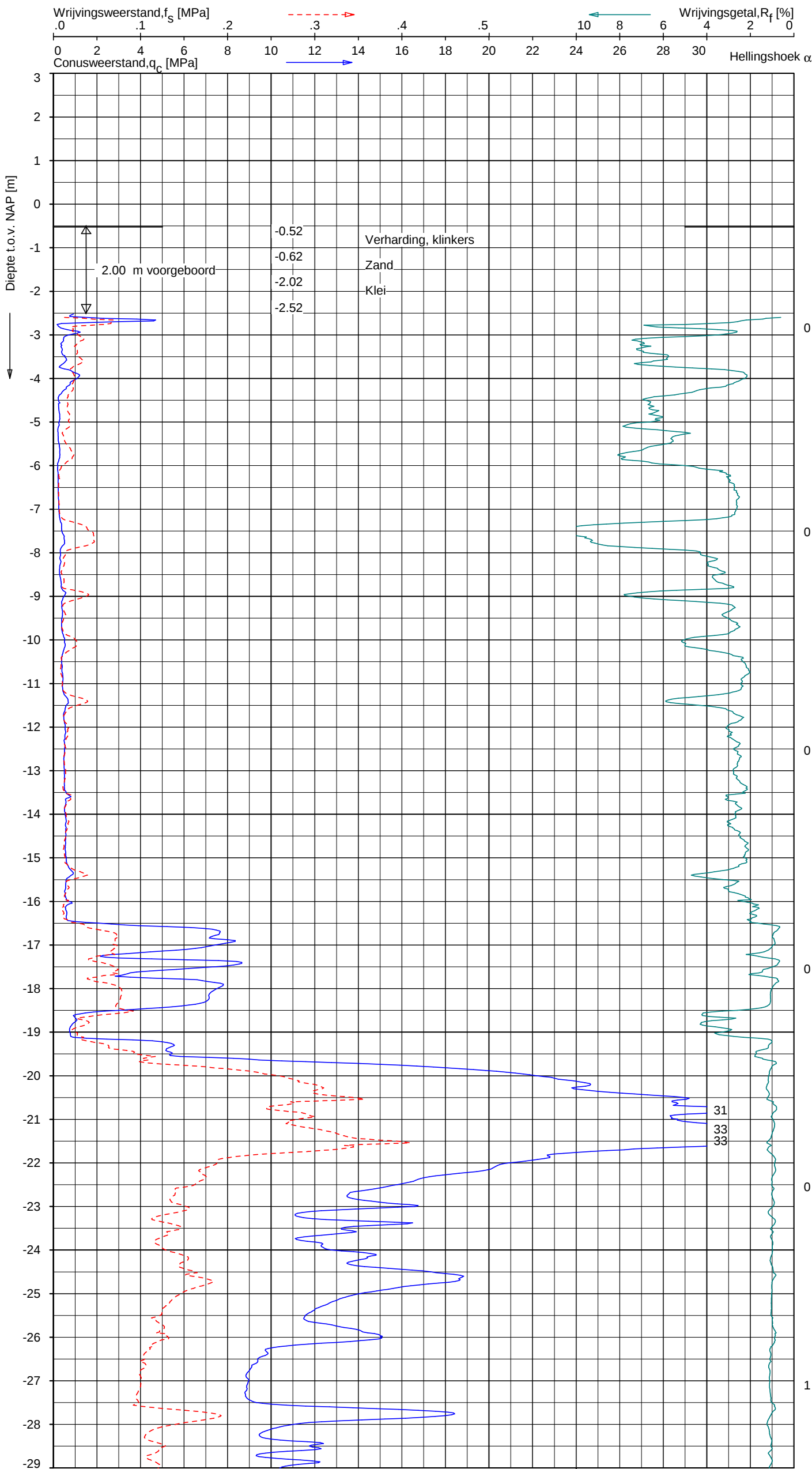
Indicatieve bodembeschrijving
Automatisch gegenereerd uit data
van de sondering, geldig onder
grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)

	ZAND, zwak siltig tot siltig
--	------------------------------

Opg. : Willem/Herbert	d.d. 16-jul-2018	Coord.: X= 81332.1 m	Y= 443681.2 m	Systeem: RD	Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
Get. : G.BOSCH	d.d. 25-jul-2018	MV = NAP -0.30 m	Conus: CP15-CF75SN2	1701-2692	Toepassingsklasse 2. Test type TE1
					Conustype: $A_c = 1510 \text{ mm}^2$; $A_s = 19895 \text{ mm}^2$

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
AANVULLEND ONDERZOEK DELFTSEKADE TE LEIDSCHENDAM EN
VLAARDINGSEKADE / DORPSSTRAAT TE SCHIPLUIDEN

Opdr. 1214-0070-011
Sond. S-13



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



Opg.: Herbert d.d. 17-jul-2018 Coord.: X= 81375.8 m Y= 443726.2 m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
Get.: G.BOSCH d.d. 25-jul-2018 MV = NAP -0.52 m Conus: CP15-CF75SN2 1701-1524 Toepassingsklasse 2. Test type TE1
Conus type: $A_c = 1510 \text{ mm}^2$; $A_s = 19895 \text{ mm}^2$

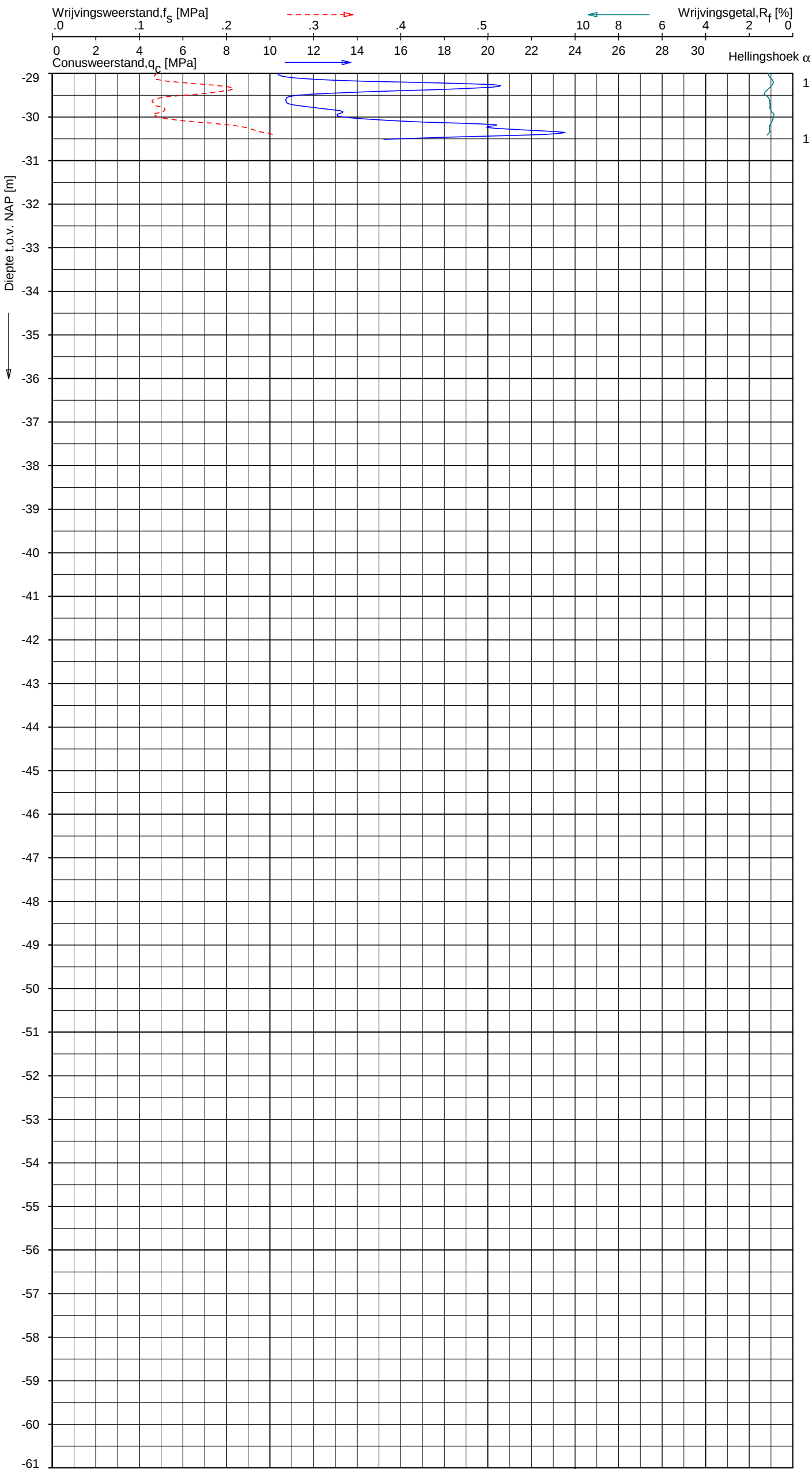
SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
AANVULLEND ONDERZOEK DELFTSEKADE TE LEIDSCHENDAM EN
VLAARDINGSEKADE / DORPSSTRAAT TE SCHIPLUIDEN

Opdr. 1214-0070-011
Sond. S-17

UNIPLOT 05.35.nl / QoFClass-R3.cmd / 2018-07-25 11:05:06

1214-0070-011

S-17 - 2



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

	ZAND, zwak siltig tot siltig
	ZAND, zwak siltig tot siltig

Opg. : Herbert d.d. 17-jul-2018 Coord.: X= 81375.8 m Y= 443726.2 m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
Get. : G.BOSCH d.d. 25-jul-2018 MV = NAP -0.52 m Conus: CP15-CF75SN2 1701-1524 Toepassingsklasse 2. Test type TE1
Conustype: $A_c = 1510 \text{ mm}^2$; $A_s = 19895 \text{ mm}^2$

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
AANVULLEND ONDERZOEK DELFTSEKADE TE LEIDSCHENDAM EN
VLAARDINGSEKADE / DORPSSTRAAT TE SCHIPLUIDEN

Opdr. 1214-0070-011
Sond. S-17