

ONDERZOEK OMGEVINGSEFFECTEN KANAALWEG MIDDELBURG:

Woongoed Middelburg

14 MAART 2019

Contactpersoon

P. SCHOUTEN
Adviseur Geotechniek en
Trillingen

T +31 (0)6 2706 1378
E peter.schouten@arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.
Postbus 220
3800 AE Amersfoort
Nederland

INHOUDSOPGAVE

| | | |
|----------|-------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | INLEIDING | 5 |
| 1.1 | Scope | 5 |
| 1.2 | Leeswijzer | 5 |
| 2 | REFERENTIES | 7 |
| 3 | PROJECTBESCHRIJVING | 8 |
| 4 | BEOORDELINGSKADER | 9 |
| 4.1 | Schade aan objecten | 9 |
| 4.2 | Hinder voor personen | 9 |
| 5 | UITGEVOERDE TRILLINGSMETINGEN EN INTERPRETATIE | 11 |
| 5.1 | Analyse meetresultaten | 12 |
| 6 | VRAAGSTELLING HINDER BEWONERS | 13 |
| 6.1 | Te verwachten trillingsniveaus | 13 |
| 6.2 | Beoordeling | 14 |
| 7 | VRAAGSTELLING HEITRILLINGEN | 15 |
| 7.1 | Inleiding | 15 |
| 7.2 | Toetsingscriterium | 15 |
| 7.3 | Trillingsprognose heiwerkzaamheden | 16 |
| 7.4 | Beoordeling | 18 |
| 8 | CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN | 20 |
| | BIJLAGE A RAPPORT HANSELMAN-TRILLINGSMETINGEN | 21 |
| | BIJLAGE B HEIFORMULE SPRENGER-POTMA | 22 |
| | COLOFON | 24 |

1 INLEIDING

1.1 Scope

Aan de Kanaalweg te Middelburg wordt studentenhuisvesting gerealiseerd. Deze te bouwen huisvesting ligt op een afstand tot het spoor die kleiner is dan 20 meter (zie Figuur 1). Daarnaast ligt de nieuw te realiseren bebouwing langs een weg, fietspad en looprouten.



Figuur 1 Overzicht projectlocatie Studentenhuisvesting Kanaalweg

Om in kaart te brengen wat voor hinder het bouwen van deze huisvesting veroorzaakt, zowel in de realisatie als in de gebruiksfase, is aan Arcadis opdracht gegeven door Woongood Middelburg om een onderzoek te doen op 3 aspecten. De volgende 3 vragen worden behandeld:

- Vraag 1) Treden er als gevolg van de treinpassages nabij de bebouwing trillingsniveaus op die als hinderlijk worden beschouwd?
- Vraag 2) Wat zijn de risico's die optreden als gevolg van de bouwwerkzaamheden die worden uitgevoerd bij de realisatie van de studentenhuisvesting
- Vraag 3) Kan de realisatie van de studentenhuisvestingen leiden tot een zodanige verandering van de wind dat dit tot hinder voor autoverkeer, fietsers en voetgangers op de Kanaalweg gaat leiden

In het voorliggende rapport worden de vraagstellingen 1 en 2 beantwoord. Beantwoording van de vraagstelling 3 wordt in een separate rapportage geleverd.

1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 zijn de als uitgangspunt gehanteerde tekeningen en documenten beschreven. Een beknopte projectbeschrijving is opgenomen in hoofdstuk 3. Het kader voor het beoordelen van hinder door trillingen van treinpassages voor de bewoners van het te realiseren complex enerzijds en ter beoordeling van schade tijdens het inheien van funderingspalen is beschreven in hoofdstuk 4.

In hoofdstuk 5 worden de uitgevoerde trillingsmeting toegelicht. In hoofdstuk 6 wordt een beoordeling van de trillingshinder voor bewoners van het complex verstrekt. Het risico van schade aan de spoorinfrastructuur tijdens het heien van de funderingspalen wordt in hoofdstuk 7 behandeld.

2 REFERENTIES

De volgende documenten en tekeningen zijn gebruikt bij het opstellen van dit advies:

1. Situatie Studentenhuisvesting Middelburg, projectnummer 15036e, tekening D00-10, 22 november 2018.
2. Tekening studentenhuisvesting Middelburg: 117264-01-A Principe fundering blok A, B, C (3 tekeningen);
3. Rapport geotechnisch onderzoek en funderingsadvies, Inpijn Blokpoel, doc nr 02P010701-adv-01, 22 november 2018, Inpijn-Blokpoel.
4. Constructief Voorontwerp studentenhuisvesting Middelburg, werknummer 117264, 22-11-2018, ABR.
5. Tekeningen constructief Ontwerp, Principe fundering blokken A,B,C (3 stuks), 22 november 2018, ABR
6. SBR Trillingsrichtlijn A: Schade aan bouwwerken ,SBRCURnet, november 2017
7. SBR richtlijn Trillingen deel B Hinder voor personen in gebouwen, SBR , augustus 2002
8. SBR richtlijn Trillingen, deel C Storing aan apparatuur, SBR, oktober 2003
9. CUR 166, damwanden,CUR-net, 2012

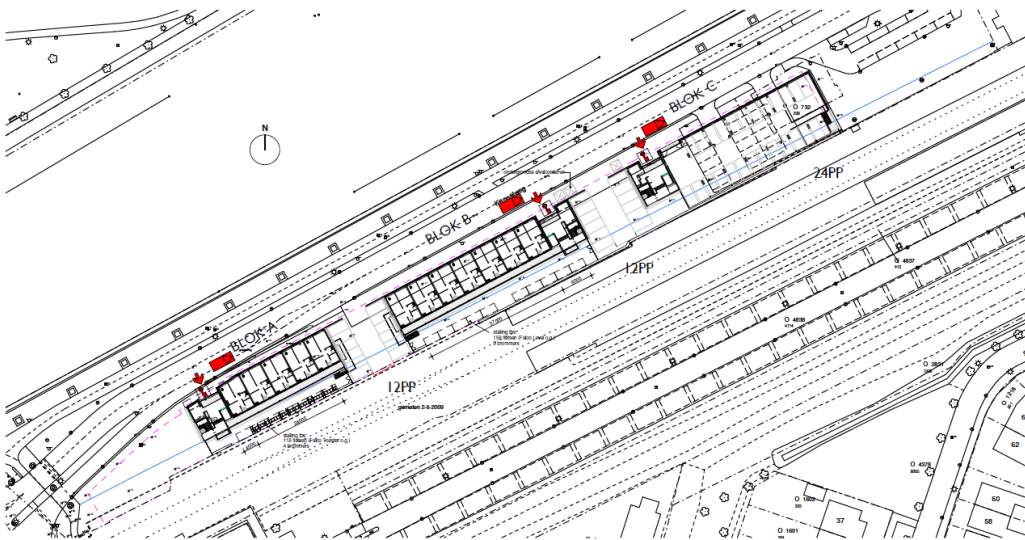
3 PROJECTBESCHRIJVING

Door Woongoed Middelburg is een studentenhuysvesting gepland langs de Kanaalweg te Middelburg, ten zuiden van het treinstation Middelburg. Aan de oostzijde grenst het bouwperceel aan ProRail-terrein.

Volgens de projectgegevens [ref 1 en 2] zal de huysvesting bestaan uit een drietal gebouwblokken met een constructie die bestaat uit gewapende betonnen draagconstructie (vloeren en wanden). Het aantal verdiepingen varieert van minimaal 4 bouwlagen (in Blok C) tot maximaal 9 bouwlagen (in Blok A).

De grootste breedte heeft blok C met een breedte van circa 16,25 m. Dit blok staat daardoor op de kortste afstand van het spoor. De afstand van de gevel tot het spoor bedraagt circa 6 meter.

Blok A, gelegen ter plaatse van het wisselcomplex, heeft een breedte van circa 10,5 m en staat naar verwachting op circa 9 meter vanuit het spoor.



Figuur 2 Situatie studentenhuysvesting Kanaalweg te Middelburg

Volgens [ref 3] zullen de gebouwen worden gefundeerd op een paalfundering met een paalpuntniveau van NAP-15 m in een draagkrachtige zandlaag. Uitgangspunt is dat de fundering bestaat uit gladde prefab palen 400x400 mm. Er is geen onderkeldering van de gebouwblokken voorzien. Dat betekent dat er ten behoeve van de bouw (en in het bijzonder de aanleg van de funderingen) slechts een beperkte en lokale ontgraving tot minder dan 1 meter beneden maaiveld noodzakelijk is.

In het spoor ligt ter hoogte van het toekomstige Blok A een wissel tussen de 2 sporen. Verder staan er bovenleidingsportalen ter hoogte van blok A en blok B. Schakelkasten staan aan de Kanaalweg zijde van het spoor ter hoogte van de overweg. Verder staat er een schakelkast aan de andere zijde van het spoor ter hoogte van Blok A.

4 BEOORDELINGSKADER

Voor het beoordelen van trillingen zijn beoordelingscriteria geformuleerd in ref [6,7,8].

4.1 Schade aan objecten

In SBR richtlijn Trillingen deel A Schade aan bouwwerken [ref 6] zijn grenswaarden voor trillingen aan bouwwerken opgenomen. De richtlijn geeft geen specifieke grenswaarden voor spoorinfra of hieraan gerelateerde constructies. Ook door ProRail, als beheerder van de spoorinfra zijn geen richtlijnen versterkt ten aanzien van trillingsniveaus als gevolg van bouwactiviteiten langs het spoor.

Uitgangspunt voor dit advies is dat als de door bouwactiviteiten optredende trillingen ter plaatse van het spoor niet hoger zijn dan de trillingsniveaus die als gevolg van het spoorgebruik optreden, er geen risico is op schade aan of verstoring van de spoorinfrastructuur.

4.2 Hinder voor personen

Voor beoordeling van hinder door verkeerstrillingen (weg-of spoorverkeer) voor personen in gebouwen zijn streefwaarden vermeld in SBR-richtlijn Trillingen deel B [ref7]. Deze streefwaarden kunnen, afhankelijk van de gebruiksfunctie van het gebouw, in drie categorieën worden opgesplitst, namelijk:

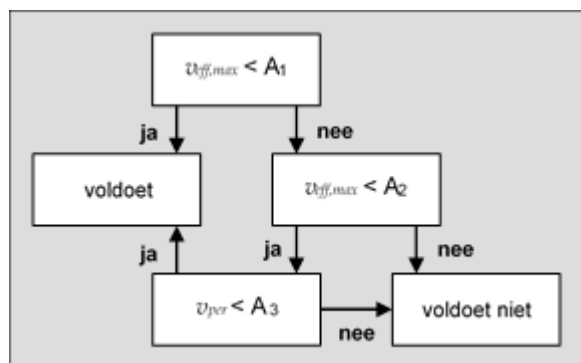
| Categorie | |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Wonen | Woonhuizen, gezondheidszorggebouwen. |
| Werken | Kantoor-, onderwijs- en bijeenkomstgebouwen. |
| Kritische werkruimte | Bepaalde ruimten in laboratoria, operatiekamers, studiezalen. |

Tabel 1, Gebouwfuncties verdeeld over drie categorieën

De SBR-Richtlijn Trillingen deel B geeft per categorie drie verschillende streefwaarden A_1 , A_2 en A_3 voor trillingen op.

De streefwaarden die aangehouden worden onderscheiden een toetsing aan streefwaarde A_1 of aan een combinatie van A_2 en A_3 . Hierin is A_1 de onderste streefwaarde, A_2 de bovenste streefwaarde en A_3 de gemiddelde streefwaarde over een bepaalde periode is.

Het volgende stroomschema geeft een overzicht van de beoordelingsprocedure van de trillingssterkte op basis van streefwaarden.



Figuur 3, Stroomschema toetsing trillingen conform SBR-richtlijn Trillingen deel B

A_1 en A_2 wordt op basis van de trillingssterkte $v_{eff,max}$ beoordeeld en A_3 op basis van v_{per} .

- Hierbij is $v_{eff,max}$ de 95%-overschrijdingskans van de trillingssterkte in de beoordelingsperiode.
- De waarde v_{per} is de gemiddelde trillingssterkte over de beoordelingsperiode en als zodanig een functie van de effectieve waarde van de trilling, de tijdsduur dat een trillingsbron in bedrijf is en de totale tijdsduur van de beoordelingsperiode.

In de twee navolgende weergegeven tabellen 2 en 3 zijn de te hanteren streefwaarden vermeld in verband met herhaald voorkomende trillingen gedurende lange tijd, zoals railverkeer, voor respectievelijk een aanpassing van een bestaande situatie en de aanleg van een nieuwe situatie voor de gebouwfuncties wonen/gezondheidszorg en onderwijs/kantoor, weergegeven.

Er wordt bij de streefwaarden onderscheid gemaakt tussen de dag-/avondperiode (7.00 tot 23.00 uur) en de nachtperiode (23.00 tot 7.00 uur). De streefwaarden in een nieuwe situatie zijn 50% van de streefwaarden voor een bestaande situatie.

| Gebouwfunctie | dag en avond | | | nacht | | |
|-----------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | A_1 | A_2 | A_3 | A_1 | A_2 | A_3 |
| Gezondheidszorg | 0,1 | 0,4 | 0,05 | 0,1 | 0,2 | 0,05 |
| Wonen | 0,1 | 0,4 | 0,05 | 0,1 | 0,2 | 0,05 |
| Onderwijs en kantoor | 0,15 | 0,6 | 0,07 | 0,15 | 0,6 | 0,07 |

Tabel 2, Grens- en streefwaarden voor een nieuwe situatie.

| Gebouwfunctie | dag en avond | | | nacht | | |
|-----------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | A_1 | A_2 | A_3 | A_1 | A_2 | A_3 |
| Gezondheidszorg | 0,2 | 0,8 | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,1 |
| Wonen | 0,2 | 0,8 | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,1 |
| Onderwijs en kantoor | 0,3 | 1,2 | 0,15 | 0,3 | 1,2 | 0,15 |

Tabel 3 Grens- en streefwaarden voor (een wijziging van de) bestaande situatie.

In de voorliggende situatie is sprake van een nieuwe situatie, immers de woonfunctie wordt in het projectgebied geïntroduceerd. Dat betekent dat de trillingsniveaus getoetst dienen te worden aan de streefwaarden in tabel 2.

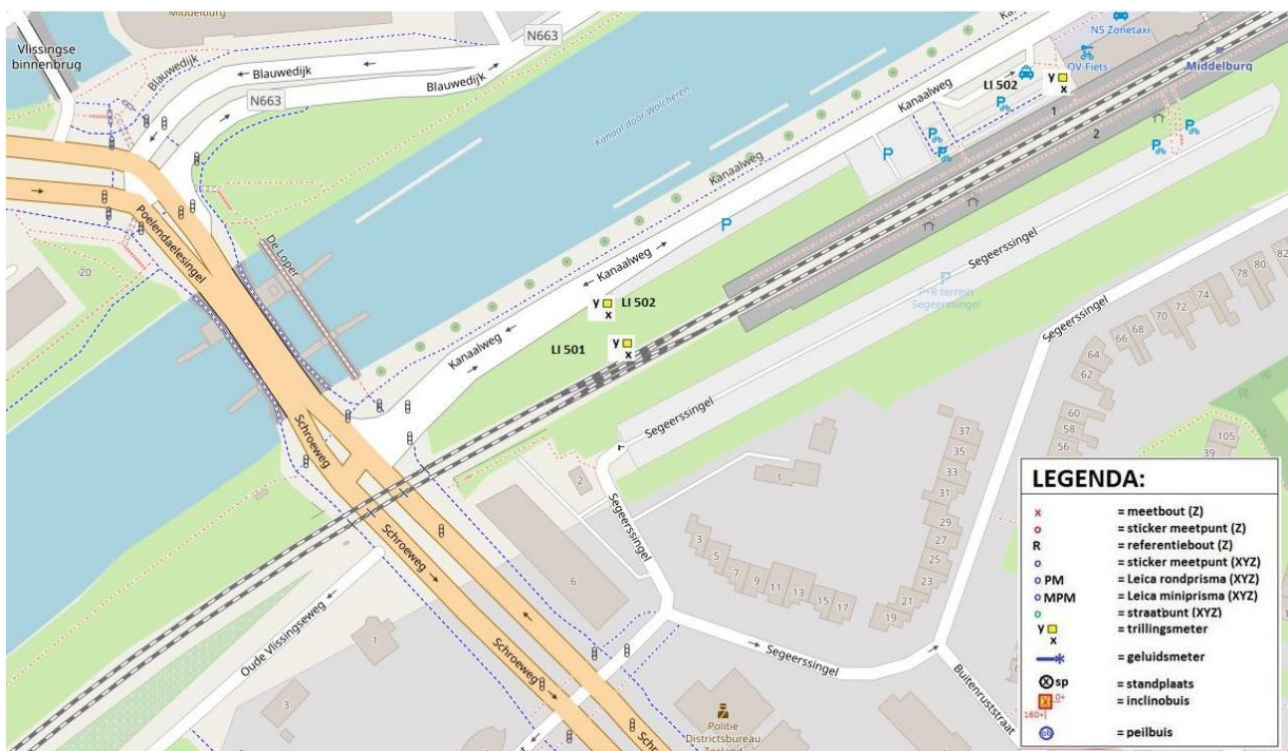
5 UITGEVOERDE TRILLINGSMETINGEN EN INTERPRETATIE

In opdracht van Arcadis heeft Hanselman groep op 14/15 februari een beperkte trillingsmeting uitgevoerd om inzicht te verkrijgen in de huidige trillingsniveaus op de bouwlocatie.

Bij deze meting zijn overdag metingen uitgevoerd om het effect van treinpassages op de projectlocaties te bepalen. De meetlocatie is gekozen ter hoogte van het wisselcomplex in het spoor, omdat uit ervaringen blijkt dat een dergelijke locatie tot de hoogste trillingsniveaus leidt.

Omdat de verwachting was dat in de dagperiode alle treinen op het station halteren is aanvullend overdag en in de avond en nacht een trillingsmeting uitgevoerd in een ruimte in het station Middelburg.

Voorafgaande aan deze nachtmeting is gelijktijdig op een locatie langs het spoor en op de locatie in het station gemeten, zodat de metingen in het station gecorreleerd kunnen worden aan de metingen op de projectlocatie.



Figuur 4 Locatie opnemers trillingsmetingen 14 t/m 15 februari 2019

De 3 meetlocaties liggen op de volgende afstanden van het spoor (buitenste spoorstaaf van spoor aan zijde kanaal):

- Locatie LI501-op projectlocatie, direct achter hek ProRail op circa 7 m vanuit het spoor
- Locatie LI502-op projectlocatie, aan de wegzijde van de projectlocatie op circa 22 meter vanuit het spoor
- Locatie LI502-station, in een ruimte van het station op circa 15 m vanuit het spoor

De rapportage van de uitgevoerde metingen zijn door Hanselman groep gepresenteerd in de rapportage "Rapport van Trillingsmeting te Middelburg (dossiernummer 0000037764/001, Deze rapportage is als bijlage A aan het voorliggende rapport toegevoegd.

5.1 Analyse meetresultaten

In de rapportage van Hanselman zijn in paragraaf 7.2 de gemeten trillingsniveaus op de projectlocatie en in het station weergegeven in grafieken en tabellen.

Voor de projectlocatie waar uitsluitend in de dagperiode (van 9 tot 12 uur) is gemeten geldt:

- De maximale trillingssterkte V_{max} ter plaatse van het hek bedraagt $2,49^1$ en is gemeten in verticale richting (Z). De overeenkomstige waarde voor de gemiddelde trillingssterkte $V_{per,meet}$ bedraagt 0,267. Uitgaande van 4 treinpassages per uur komt dit overeen met een effectieve waarde $V_{per}=0,07$.
- Aan de wegzijde van de projectlocatie is in dezelfde meetperiode de maximale trillingssterkte V_{max} 0,33. De overeenkomstige waarde voor de gemiddelde trillingssterkte $V_{per,meet}$ bedraagt 0,025, hetgeen overeenkomt met $V_{per} = 0,006$
- Uit de beide meetreeksen volgt dat de afname van de trillingssterkte over een afstand van 15 m tussen de beide meetlocaties, gelegen op een afstand van respectievelijk 7 en 22 m uit het spoor in de orde van 10% tot 14% ligt.
- De gemiddelde trillingssterkte V_{per} over de dagperiode neemt af van 0,07 bij het hek tot minder dan 0,01 bij de wegzijde en vertoont dus een vergelijkbaar afname verloop met toenemende afstand tot het spoor als V_{max} .

Uit de vergelijking van de metingen langs het spoor op de projectlocatie en de metingen in het station (van 13 tot 16 uur) blijkt dat:

- De gemeten waarden in het station, op een afstand van circa 15 m uit het spoor, circa 13% zijn van de waarden die direct langs het ProRail-hek gelijktijdig zijn gemeten.

Uit de 24 uursmeting in het station is af te leiden dat:

- Er in de nachtperiode van 14 op 15 februari weliswaar incidenteel hoge trillingsniveaus zijn geregistreerd die aangeven dat er waarschijnlijk enige treinpassages zijn geweest, maar dat de daarbij geregistreeerde trillingsniveaus niet hoger zijn dan de trillingsniveaus gemeten in de dagperiode.
- Het aantal treinpassages in de avond en nachtperiode is duidelijk lager dan in de dagperiode. Dit betekent dat de gemiddelde trillingssterkte V_{per} voor de avond- en nachtperiode niet maatgevend is.
- Dit betekent dat dagperiode maatgevend wordt geacht en dat de avond- en nachtperiode niet maatgevend zijn voor de hinderbeleving van trillingen op de projectlocatie.

¹ Tijdens de metingen worden de snelheden van de trillingen gemeten in mm/s. Conform SBR deel B worden de gemeten trillingen met een frequentieafhankelijke wegingsfactor dimensieloos gemaakt.

6 VRAAGSTELLING HINDER BEWONERS

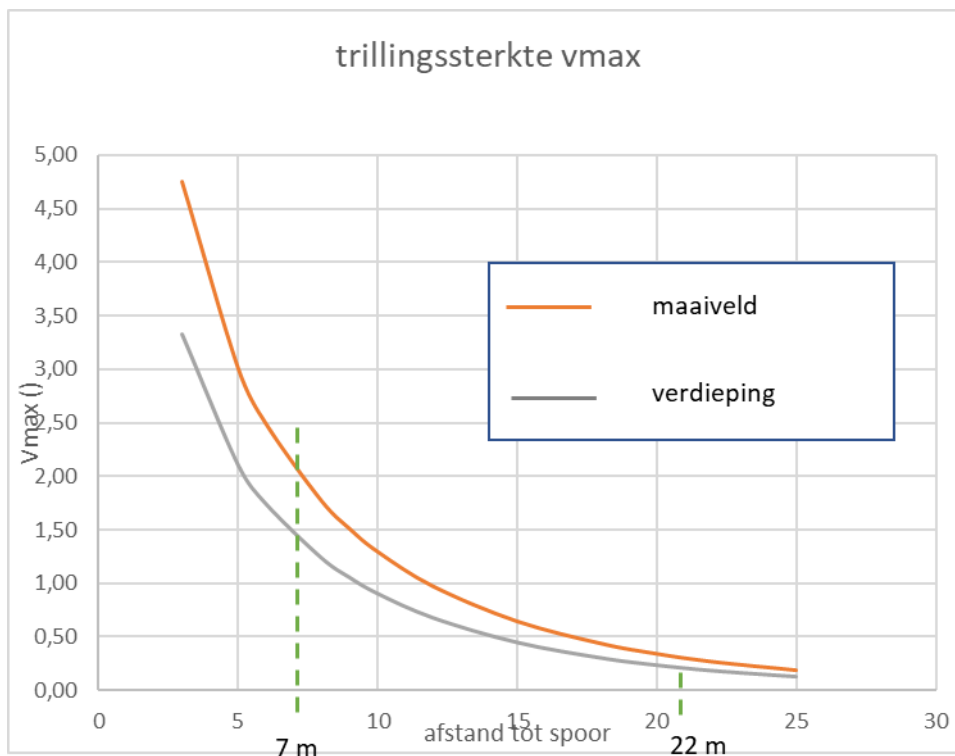
Treden er als gevolg van de treinpassages nabij de bebouwing trillingsniveaus op die als hinderlijk worden beschouwd?

6.1 Te verwachten trillingsniveaus

Op basis van de gegevens (ref 3 en 4) volgt dat de huisvesting zal bestaan uit een gebouw met een draagconstructie die bestaat uit gewapend beton (vloeren en wanden). Het aantal verdiepingen varieert van minimaal 4 bouwlagen (in Blok C) tot maximaal 9 bouwlagen (in Blok A).

Bouwblok C staat op de kortste afstand van het spoor met de gevel op circa 6 meter van het spoor. Blok A ter plaatse van het wisselcomplex staat naar verwachting op circa 9 meter vanuit het spoor.

Op basis van de gemeten trillingsniveaus op het maaiveld op respectievelijk 7 en 22 m vanuit het spoor is in onderstaande figuur een relatie weergegeven voor de te verwachten maximale trillingsniveaus op maaiveld als functie van de afstand tot het spoor.



Figuur 5 Verwachte trillingsniveaus (V_{max}) bij treinpassages

De trillingen die uiteindelijk in het gebouw zullen worden waargenomen zullen als gevolg van de overdracht van ondergrond naar de constructie en vervolgens in het gebouw via de draagconstructie naar de bovenliggende vloeren enige demping ondergaan.

Op basis van metingen uitgevoerd elders in Nederland wordt verwacht dat voor een gebouw uitgevoerd in betonskeletbouw met meer dan 4 verdiepingen de totale overdrachtsfactor van trillingen van maaiveld naar verdiepingsniveau in de orde van 0,7 zal bedragen. Dat betekent dat de trillingssterkte op het maatgevende vloerniveau in het gebouw circa 70% van de trillingssterkte op maaiveldniveau zal bedragen. Voor de overdracht in het gebouw is nog een verdere reductie door overdracht van 90% aangehouden.

Op basis van deze uitgangspunten wordt ingeschat dat bij blok C dat op circa 6 m van het spoor staat de waarde V_{max} op vloerniveau circa 1,7 zal bedragen. Bij blok A, met een afstand van 9 meter tot het spoor is de te verwachten $V_{max} = 1,0$.

De gemiddelde effectieve waarde over de beoordelingsperiode V_{per} in de dagperiode bedraagt minder dan 0,05. In de avond- en nachtperiode is het aantal treinpassages zodanig laag dat V_{per} nagenoeg 0 is.

6.2 Beoordeling

De berekende trillingssterktes dienen te worden vergeleken met de streefwaarden voor nieuwe situatie zoals weergegeven in tabel 2.

Hierbij blijkt dat ter plaatse van Blok A de te verwachten trillingsniveaus ($V_{max}=1,0$) op de verdiepingen de streefwaarden ($V_{max}< 0,4$) zullen overschrijden. Voor Blok C is de te verwachten trillingssterkte in het gebouw, als gevolg van de kleinere afstand tot het spoor het grootst. Ook als in dit gebouw het nadelige effect van een wissel niet meer voelbaar is. Op basis van metingen elders in Nederland, wordt verwacht dat de trillingssterkte buiten het invloedsgebied van het wisselcomplex circa 75% is van de waarde ter hoogte van het wisselcomplex. Met deze reductiefactor is de te verwachten trillingssterkte $V_{max}= 0,75*1,7= 1,3$, zodat nog steeds sprake is van een overschrijding van de streefwaarde.

Uit deze verkennende analyse blijkt dat het aannemelijk is dat er als gevolg van treinpassages in de studentenhuisvesting Kanaalweg trillingsniveaus zullen optreden die de streefwaarden voor hinderbeleving overschrijden. Een beschouwing van de dynamische stijfheid van de draagconstructie maakt geen onderdeel uit van de quick scan.

De dragende hoofdconstructie bij de Blokken A en B resulteert, door de aanwezigheid van de betonnen dwarswanden loodrecht op het spoor, in een grotere stijfheid in die richting in vergelijking tot Blok C, waarin kolommen en relatief smalle wanden in de dragende constructie zijn opgenomen. Dit betekent dat de respons op trillingen, ook door de kortere afstand tot het spoor, in Blok C groter zal zijn dan in de Blokken A en B.

Weliswaar is op basis van nadere beschouwing van massa en stijfheid van de constructie theoretisch een nadere voorspelling van de gebouwdemping van trillingen te maken, maar de verwachting is dat hiermee onvoldoende zekerheid wordt verkregen dat trillingsniveaus tot onder de streefwaarden worden teruggebracht.

Beperking van de optredende trillingsniveaus in de bebouwing kan worden gerealiseerd met behulp van maatregelen tussen spoor en de nieuwbouw, dan wel door constructieve maatregelen in de bouwblokken.

Maatregelen die in de onderhavige situatie tussen spoor en bebouwing kunnen worden getroffen zijn gezien de geringe ruimte beperkt. Met behulp van een trillingsreducerende ondergrondse constructie kan de overdracht door de ondergrond worden beperkt. Deze maatregel betreft de installatie van een stijve ondergrondse wand. De kosten hiervan zijn aanzienlijk en liggen, bij een geschatte benodigde lengte van circa 150 m langs het spoor, in de orde van 2 à 3 miljoen Euro.

Mitigerende maatregelen aan de constructie van de bouwblokken zijn ofwel een verzwaring en/of verstijving van de constructie of het aanbrengen van verende voorzieningen tussen fundering en bovenbouw.

7 VRAAGSTELLING HEITRILLINGEN

Wat zijn is risico, en de eventuele beheersing van dit risico, van schade aan de spoorinfrastructuur als gevolg van de bouwwerkzaamheden die worden uitgevoerd bij de realisatie van de studentenhuisvesting?

7.1 Inleiding

De spoorinfrastructuur waar rekening mee gehouden moet worden bestaat uit:

- Bovenbouw baan (fundering, dwarsliggers, bevestigingsmiddelen en spoorstaven);
- Wisselcomplex in het spoor;
- Schakelkasten (voor signalering en beveiliging);
- Kabels en leidingen;

Zoals aangegeven in de inleiding wordt er studentenhuisvesting gerealiseerd op een afstand kleiner dan 20 meter van het spoor. De ondergrond waarop gebouwd gaat worden is niet voldoende draagkrachtig om op staal te funderen. De ondergrond bestaat uit een bovenlaag van ongeveer 1 meter zand gevolgd door een pakket van 14 tot 16 meter aan slappe gronden klei en veen tot de vaste pleistocene zandlaag wordt bereikt. (opbouw is ontleend aan ref.[5]). Om te zorgen voor een draagkrachtige fundering is door derden geadviseerd de bebouwing op palen te funderen met de paalpunt in de pleistocene zandlaag op NAP – 15 m. Er is gekozen voor het heidend inbrengen van prefab betonpalen, 400x400 mm (zie ref.[4], ref.[5]).

De risico's die kunnen optreden tijdens de bouwwerkzaamheden zijn:

- Het zetten van de onderbouw van de baan met als gevolg zakken van de spoorinfrastructuur door trillingen tijdens hei werkzaamheden;
- Schade of verstoring van besturings- en beveiligingssystemen van de spoorinfrastructuur
- Vervorming (verzakkingen) door het afgraven van grond nabij de spoorinfrastructuur;
- Vervorming van plastische gronden (klei, veen) onder de bovenbouw van de baan door opslag zwaar materiaal nabij spoorinfrastructuur;

7.2 Toetsingscriterium

Om de invloed van de trillingen ten gevolge van de heiwerkzaamheden te bepalen is in dit hoofdstuk een heiprognose opgesteld. Indien de trillingen tijdens de heiwerkzaamheden ter plaatse van de spoorinfrastructuur lager zijn dan de trillingen die optreden tijdens treinpassages, is er geen verhoogd risico op verzakkingen. Het trillingsniveau tijdens treinpassages is bepaald aan de hand van de uitgevoerde trillingsmetingen (zie bijlage A).

Uit de metingen is door extrapolatie (zie Figuur 5) af te leiden dat er op circa 3 m vanuit het spoor een maximale trillingssterkte (V_{max}) van orde 5,5 optreedt. In de as van het spoor is mogelijk nog een hogere trillingssterkte te verwachten. Uitgangspunt is dat de waarde 5,5 als grenswaarde voor alle aanwezige objecten in de spoorinfrastructuur kan worden gehanteerd.

Opgemerkt wordt dat de (dimensieloze) maximale trillingssterkte V_{max} specifiek voor hinderbeleving wordt gehanteerd. Voor schadebeoordeling dient overeenkomstig SBR deel A de topwaarde van de trillingsnelheid V_{top} (in mm/s) te worden beschouwd. Uit ref [6] en [7] is af te leiden dat $V_{top} \approx 1,6 V_{max}$. Dat betekent dat de afgeleide grenswaarde V_{max} nabij het spoor overeenkomt met een grenswaarde voor V_{top} van $16 \cdot 5,5 = 8,8$ mm/s.

7.3 Trillingsprognose heiwerkzaamheden

Situatie



Figuur 6 Situatie te bouwen studenthuisvesting ten opzichte van het spoor;

In Figuur 6 is de nieuwe situatie weergegeven met de studenthuisvesting als blok A, B en C. Aan de hand van deze situatietekening is de maatgevende heipaal gekozen. De kortste afstand van fundering naar spoor is aanwezig bij blok C. Lijn A in Figuur 6 geeft de afstand van de heipaal tot het hekwerk aan en lijn B de afstand tot het spoor.

Op basis van het funderingsadvies (ref[3]) en het bovenstaande zijn de volgende uitgangspunten bepaald voor blok C:

- Kortste afstand buitenkant spoor= 8 [m];
- Grootste afstand palen tot buitenkant spoor = 24,5 [m];
- Lengte heipaal= 18 [m];
- Oppervlakte paal = 0,16 [m²];
- Q (statisch puntdragvermogen) = 1521 [kN]

Met bovenstaande gegevens is een inschatting² gemaakt van de benodigde hei-energie. De te leveren hei-energie (E_h) is bepaald met behulp van de formule van Sprenger-Potma. Om een paal vierkant 400 mm met een lengte van 18 meter met een weerstand van 1521 kN te heien is een minimale E_h nodig van 135 kNm. Voor de gehele berekening zie Bijlage B.

Voor het bepalen van de optredende trillingen in de omgeving is gebruik gemaakt van de methodiek beschreven in CUR 166 (ref[9]):

De bronsterkte van het heien is afhankelijk van de grond en van de hei-energie die geleverd wordt. Deze wordt bepaald volgens onderstaande formule:

$$V_{0,cor} = V_0 \sqrt{0,8 * 1000 * E_h}$$

² Deze inschatting is opgesteld ten behoeve van de trillingspredictie en niet voor de keuze van een heiblok. Hiervoor is een nadere verificatie benodigd.

Voor de overdracht van de trillingen vanaf bron naar de omgeving geldt dat de topwaarden van de trillingen met de afstand afnemen als gevolg van materiaaldemping en geometrische demping. Onderstaande formule geeft de topwaarden op een afstand (r) aan, waarbij de materiaaldemping is meegenomen:

$$C_{of} = 0,7 * \sqrt{\frac{5}{r}} * \exp[-\alpha(r - 5)]$$

- α =dempingsconstante [m-1] ;
- r = afstand tussen bebouwing en heipaal [m];
- 0,7 = aanname dat de fundatie de trillingen met een factor 0,7 reduceert;

De bronsterkte V_0 en de overdrachtsfactor α van de trillingen in grond is afhankelijk van de grondopbouw. In tabel 5.20 van de CUR 166 deel 2 zijn voor drie bodemprofielen, Amsterdam, Maasvlakte en Rotterdam, 3 parameters bepaald. Dit zijn:

- α is de dempingsconstante in m-1;
- V_0 is de referentietrillingsnelheid op $r_0=5$ meter afstand in mm/s;

Tabel 4 Trillingsoverdrachtsfactoren heien volgens CUR166

| Bodemprofiel | v_a (mm/s) (99%) | v_a (mm/s) (95%) | α (m-1) |
|----------------|--------------------|--------------------|----------------|
| Amsterdam (1) | 0,08 | 0,06 | 0,03 |
| Eindhoven (2) | | | |
| Groningen (3) | | | |
| Den Haag (4) | | | |
| Maasvlakte (5) | 0,106 | 0,08 | 0,0 |
| Rotterdam (6) | 0,07 | 0,052 | 0,03 |
| Tiel (7) | | | |

Het karakteristieke bodemprofiel dat het meest overeenkomt met de grondopbouw in Middelburg is grondopbouw in Amsterdam, zie Figuur 7.

CUR-publicatie I66 6e herziene druk, deel 1

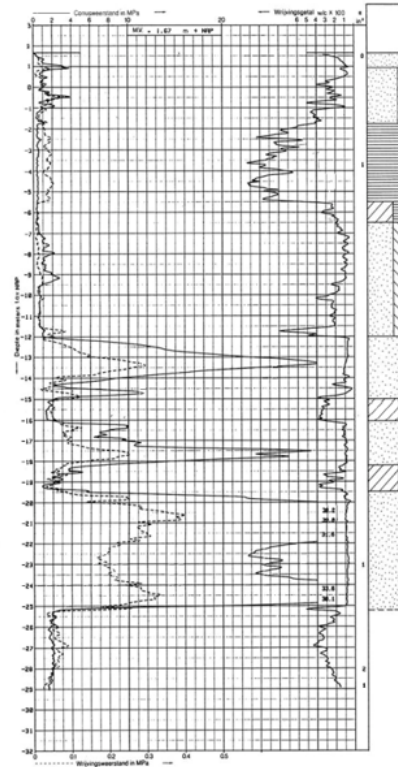
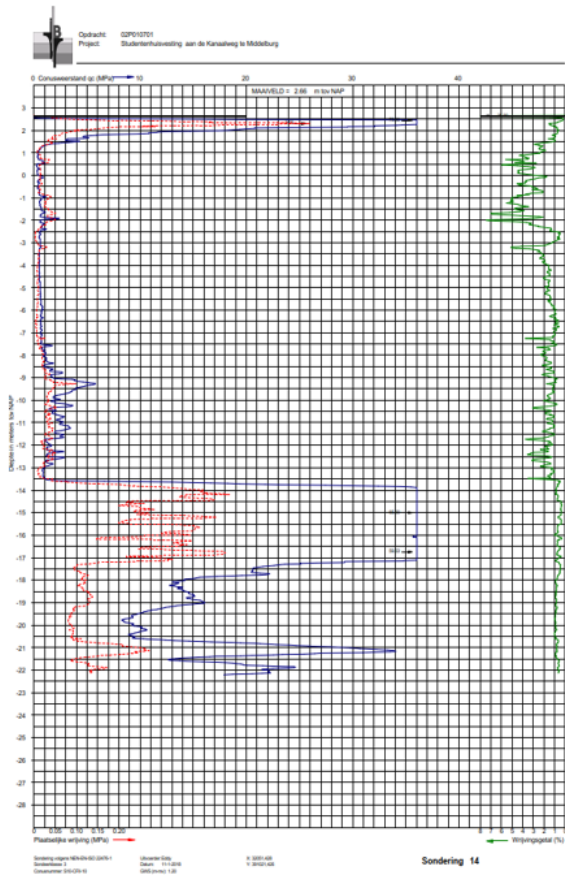


Fig. C1 Sondering Amsterdam.

Figuur 7 Links grondopbouw Middelburg, rechts grondopbouw Amsterdam;

De parameters die bij het Amsterdamse grondprofiel horen zijn:

- $\alpha = 0,03$ [m-1];
- V_o (99%) = 0,08 [mm/s];

Met de afgeleide hei-energie van 135 KNm is berekend: $V_{0,cor} = 26$ [mm/s];

De maximale trilsnelheid (V_{max}) kan bepaald worden met een kans van 99% niet overschrijden door de berekende $V_{0,cor}$ te vermenigvuldigen met de berekende C_{of} op een afstand (r). Voor de afstand tot tot buitenkant spoor betekent dat de volgende trillingsterktes:

- V_{max} bij heien van de meest nabijgelegen funderingspalen op 8 meter = 13,3 [mm/s];
- V_{max} bij heien van de palen op 24,5 m van het spoor = 8,7 meter = 4,6 [mm/s].

7.4 Beoordeling

Vergelijking van de berekende trillingsniveaus met de streefwaarden geeft aan dat op basis van de opgestelde heiprognose bij het heien van de palenrij het dichtste bij het spoor de streefwaarde van 8,8 mm/s wordt overschreden. Bij de achterste rij van dit blok zijn de trillingsniveaus ter plaatse van het spoor lager dan de streefwaarde.

Met de afstand-relatie voor trillingsdemping is berekend dat de gehanteerde streefwaarde bij het spoor wordt overschreden als de afstand tussen de palen en het spoor minder is dan 14,5 m.

Op basis van de uitgevoerde analyse kan niet volledig worden uitgesloten dat er bij het inbrengen van palen hogere trillingsniveaus optreden nabij het spoor dan die welke gedurende reguliere treinpassages optreden.

Zettingsschade aan het spoor en de bij de spoorbaan gesitueerde bovenleidingmasten, als gevolg van de optredende trillingen, is niet te verwachten. Op de projectlocatie is volgens de beschikbare sonderingen een deklaag van 1 m matig verdicht zand aanwezig. Mogelijk is deze laag ter plaatse van het spoor iets dikker. Omdat het spoor nagenoeg op maaiveld ligt is het niet aannemelijk dat de pakketdikte onder het spoor veel groter is dan 1 m. Uitgaande van een dikte van 2 m is volgens SBR deel A de karakteristieke grenswaarde van de trillingssterkte waarbij zettingsschade is te verwachten 18,7 mm/s. Dit is een aanzienlijk hogere waarde dan de gehanteerde streefwaarde gebaseerd op het gemeten trillingsniveau nabij het spoor bij treinpassages (8,8 mm/s), zodat risico op zetting door verdichting niet aan de orde is ter plaatse van het spoor.

Samenvattend wordt geconcludeerd dat er weliswaar niet kan worden uitgesloten dat er ter plaatse van het spoor, tijdens het inbrengen van prefab heipalen hogere trillingsniveaus optreden dan die welke op nabij het spoor optreden bij treinpassages. Het risico op zetting aan het spoor is daarbij verwaarloosbaar. Het restrisico heeft betrekking op schade aan schakelingen in relaiskasten en wisselaansturingen. De schakelkasten bij de overweg en aan de andere zijde van het spoor staan op minimaal 20 m afstand van een hei-locatie. Om die reden wordt verwacht dat de kans op verstoring in de aansturing van de besturings- en beveiligingssystemen langs het spoor zeer gering is.

Geadviseerd wordt de heiwerkzaamheden aan te vangen aan de Kanaalwegzijde onder begeleiding van trillingsmetingen aan de spoorinfra (bijvoorbeeld aan een funderingsblok van een bovenleidingsmast), en op deze wijze vast te stellen of de trillingsniveaus daadwerkelijk hoger zijn dan die welke als gevolg van treinpassages optreden. Aan de hand van metingen kan beoordeeld worden of heien ook op korte afstand van het spoor doorgezet kan worden, of dat moet worden overgestapt naar een trillings-arm funderingssysteem.

Als alternatief kan gekozen worden voor het toepassen van een trillings-arm paalsysteem voor alle palen. In dat geval is schade aan de spoorinfrastructuur als gevolg van het inbrengen van palen op voorhand volledig uitgesloten.

Gezien de opbouw van de ondergrond wordt geadviseerd om tijdens de bouwfase geen materialen op te slaan in een zone van circa 5 m uit hart spoor om het risico op zettingen aan het spoor te voorkomen.

8 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Op basis van het uitgevoerde trillingsmetingen en de ontwerpgegevens van de studentenhuysvesting Kanaalweg wordt het volgende geconcludeerd:

- Door treinpassages treden er op de projectlocatie maaiveldtrillingen op van een niveau waarbij de streefwaarden voor trillingen in een gebouw met woonfunctie worden overschreden.
- Als gevolg van de massa en stijfheid van de gebouwblokken A, B en C wordt verwacht dat in deze gebouwen een lager trillingsniveau optreedt dan gemeten op maaiveld. Echter op basis van ervaringscijfers wordt verwacht dat de reductie van overdracht van trillingen beperkt is tot orde 70% en dat daarbij in de gebouwblokken trillingsniveaus kunnen optreden die de streefwaarden voor hinderbeleving overschrijden.
- Verwacht wordt dat met een nadere beschouwing van massa en stijfheid van de constructie weliswaar een nadere voorspelling van de gebouwdemping van trillingen is te maken, maar de verwachting is dat hiermee onvoldoende zekerheid wordt verkregen dat trillingsniveaus tot onder de streefwaarden worden teruggebracht.
- Beperking van de optredende trillingsniveaus in de bebouwing zijn het meest effectief. Hierbij wordt gedacht aan het toepassen van een verende oplegging van de bovenbouw op de fundering.
- Bij het heidend inbrengen van funderingspalen van de dichtstbijzijnde palenrijen bij het spoor zullen ter plaatse van het spoor trillingsniveaus optreden die mogelijk hoger zijn dan die als gevolg van treinpassages optreden.
- De optredende trillingsniveaus bij het heiden zullen niet leiden tot zettingen aan de spoorconstructie en andere infra-objecten. Het risico op storing in schakelingen (relais etc.) in de aanwezige schakelkasten worden gezien de minimale afstand van 20 m tot een heillocatie klein geacht.
- Indien gekozen wordt voor het toepassen van een trillings-arm paalsysteem is schade aan de spoorinfrastructuur als gevolg van het inbrengen van palen op voorhand volledig uitgesloten.
- Bij toepassing van geheide palen wordt geadviseerd om tijdens de uitvoering van het heiden een monitoring van de optredende trillingen uit te voeren aan of bij het spoor.
- Gezien de opbouw van de ondergrond wordt geadviseerd om tijdens de bouwfase geen materialen op te slaan in een zone van circa 5 m uit hart spoor om het risico op zettingen aan het spoor te voorkomen.

BIJLAGE A RAPPORT HANSELMAN-TRILLINGSMETINGEN

BIJLAGE B HEIFORMULE SPRENGER-POTMA

$$E_h = \left[Q * z + Q^2 * \frac{L}{\alpha EA} \right] * C * \xi$$

- E_h = benodigde energie van het blok [kNm];
- α = energieverlies factor [-];
- ξ = efficiency coëfficiënt [-];
- Q = grensdragvermogen paal [kN];
- L = Lengte van de paal [m];
- A = Doorsnede van de paal [m²];
- E = Elasticiteitsmodulus van de paal [kN/m²];
- z = Zakking per slag [m];
- m = Energieverliesfactor [-];

Verder is C gegeven door:

$$C = \frac{W_h + W_p}{W_h + m^2 * W_p}$$

Uitkomst

| | | |
|-----------------------|--------------|-------------------|
| Wh | 70,4 | kN |
| Wp | 70,4 | kN |
| m (beton paal) | 0,3 | - |
| C | 1,835 | - |
| Q | 1521 | kN |
| Z | 0,008 | m |
| L | 18 | m |
| E | 36000000 | kN/m ² |
| A | 0,16 | m ² |
| Ξ | 0,67 | - |
| A | 0,8 | - |
| Eh | 133 | kNm |

COLOFON

ONDERZOEK OMGEVINGSEFFECTEN KANAALWEG MIDDELBURG:

KLANT

Woongoed Middelburg

AUTEUR

P. Schouten

PROJECTNUMMER

D06011.000002

ONZE REFERENTIE

083818269 B

DATUM

14 maart 2019

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 220
3800 AE Amersfoort
Nederland
+31 (0)88 4261261

www.arcadis.com