

Bouwlocatie Minkemalaan, Woerden

Prognose spoortrillingen

Status	definitief
Versie	001
Rapport	M.2022.0500.00.R001
Datum	1 juni 2022



Colofon

Opdrachtgever	Plané Vastgoedontwikkeling B.V.
Contactpersoon opdrachtgever	Mevrouw N. Bom
Project	Locatie Minkemalaan, Woerden
Betreft	Trillingsprognose
Uw kenmerk	-
Rapport	M.2022.0500.00.R001
Datum	1 juni 2022
Versie	001
Status	definitief
Uitgevoerd door	DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V. Van Pallandtstraat 9-11 6814 GM Arnhem Postbus 153 6800 AD Arnhem
Contactpersoon	ing. R.G. (Reinoud) Fennema 088 346 76 33 rfe@dgmr.nl
Auteur	ing. R.G. (Reinoud) Fennema 088 346 76 33 rfe@dgmr.nl
Projectadviseur	ir. M.H.J. (Mark) Bakermans 088 346 78 50 bk@dgmr.nl
2e lezer/secr.	BK SMI

Inhoud

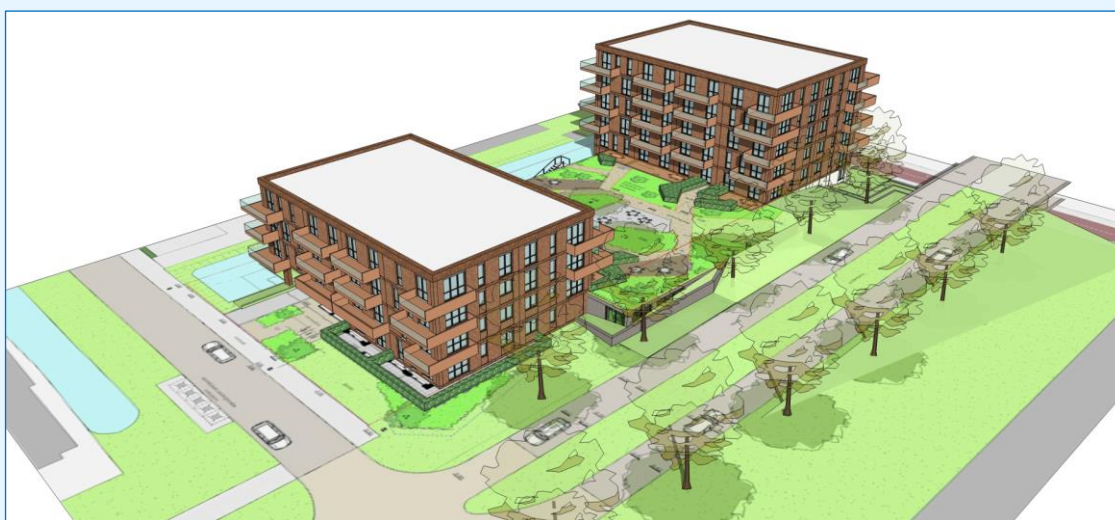
1. Inleiding	4
2. Toetsingskader	5
3. Situatie	6
4. Meting	7
4.1 Meetopstelling	7
4.2 Verwerking meetdata	7
5. Meetresultaten	9
6. Prognose	10
6.1 Methode	10
6.2 Resultaten	10
7. Conclusies en aanbevelingen	11

Bijlagen

Bijlage 1	Trillingsregistraties V_{top}
Bijlage 2	Trillingsprognoses - Afstand tot spoor 90 - 130 - 170m

1. Inleiding

Ten Zuiden van station Woerden ligt de ontwikkellocatie Snellerpoort. Op deze locatie vindt uitbreiding plaats van de woonwijk Snel en Polanen. Eén van de ontwikkelingen betreft nieuwbouw op een kavel op de hoek van de Minkemalaan met het Jan Ruispad. Hier wordt volgens plan een appartementencomplex gebouwd, bestaande uit twee bouwvolumes van vier en zes bouwlagen met daartussen parkeergelegenheid onder een dek met gemeenschappelijke binnentuin, zie figuur 1. Vanwege de ligging van het bouwplan binnen 100 m afstand tot het spoor, wordt door de gemeente Woerden een trillingsonderzoek verlangd.



figuur 1: verbeelding bouwplan Minkemalaan, Woerden (schetsontwerp)

Het onderzoek richt zich op de trillingen van treinen op de spoorlijn Utrecht - Gouda/Alphen aan den Rijn, een drukke lijn qua reizigersvervoer. Daarnaast rijden er op deze lijn goederentreinen.

Voor een goed beeld van de trillingsrisico's (prognose) wordt gebruikgemaakt van metingen van de trillingsopwekking van treinen in de bodem, eerder uitgevoerd in het jaar 2019. Qua spoorgebruik zijn er sindsdien geen wezenlijke veranderingen opgetreden, anders dan een beperkte autonome groei van het goederenvervoer. Op basis van deze metingen wordt een prognose gegeven van de te verwachten trillingen in de geplande nieuwbouw aan de Minkemalaan.

2. Toetsingskader

Voor de nieuwbouw zijn geen (afwijkende) trillingseisen opgegeven. Optredende trillingen worden beoordeeld aan de hand van de in Nederland gebruikelijke SBR-richtlijn Trillingen deel B: 'Trillingshinder voor personen in gebouwen', uitgave 2002 (revisie 2006). In deze richtlijn zijn de in tabel 1 weergegeven streefwaarden opgenomen.

tabel 1: SBR-B - Streefwaarden herhaald voorkomende trillingen (railverkeer), nieuwe situaties

Gebouwfunctie	Dag en avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Wonen	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05

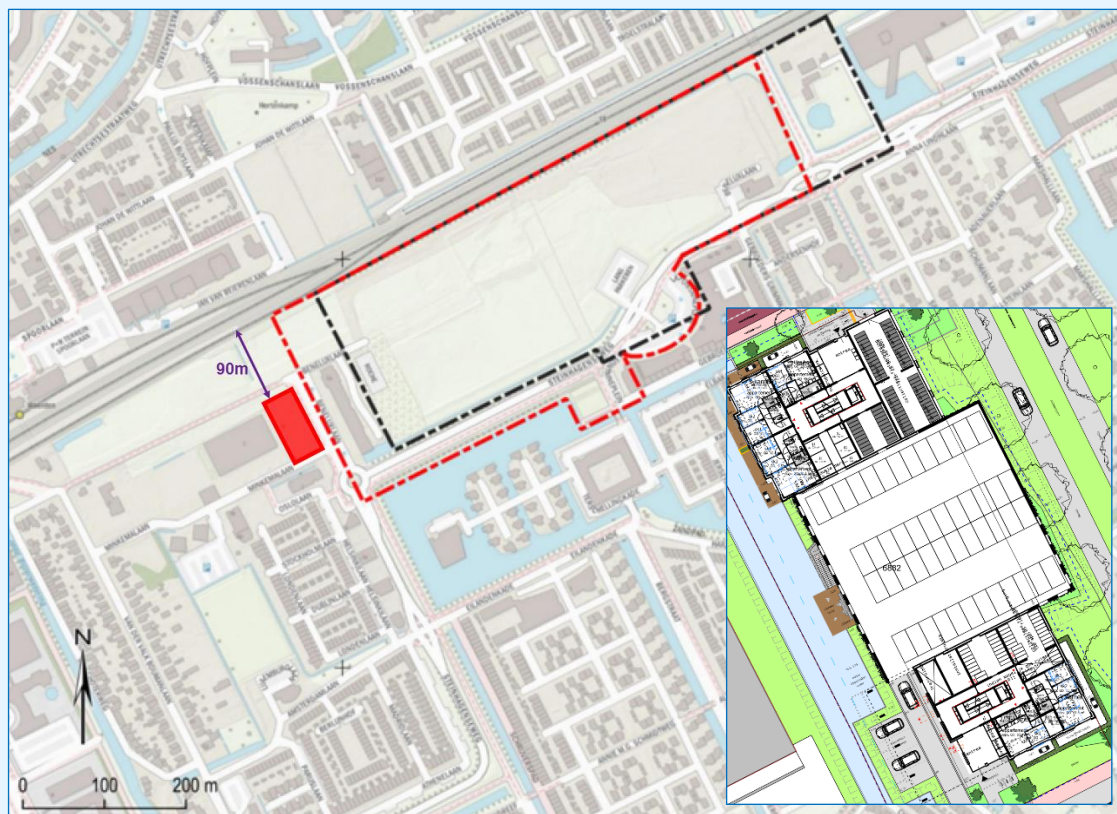
A1 = onderste streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max} ; A2 = bovenste streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max}

A3 = streefwaarde voor de gemiddeld effectieve waarde over de beoordelingsperiode V_{per} , indien $A1 < V_{max} < A2$

Voor nieuwe woningen nabij een spoorlijn wordt voldaan aan de SBR-B als de maximale effectieve trillingssterkte V_{max} kleiner is dan 0,2 (A2/nacht) en de tijdgemiddelde trillingssterkte V_{per} niet hoger is dan 0,05 (A3). Als V_{max} lager is dan 0,1 dan komt de toetsing van de V_{per} te vervallen.

3. Situatie

De bouwlocatie Minkemalaan, zie figuur 2, ligt ten zuiden van de spoorlijn Utrecht - Gouda, ter hoogte van de perrons van station Woerden. De kleinste afstand van het bouwplan tot het spoor bedraagt ongeveer 90 meter. De constructieve opzet van de nieuwbouw is nog niet bepaald.



figuur 2: bouwlocatie Minkemalaan (rode vlek) met verbeelding bouwplan (inzet)

De spoorlijn Utrecht - Gouda bestaat ter hoogte van de perrons uit zes sporen, die buiten het stationsgebied overgaan in vier doorgaande sporen. Het spoor wordt hoofdzakelijk gebruikt door (personen)vervoersbedrijf NS. Tijdens metingen (jaar 2019) zijn merendeels stoptreinen en intercity's van het type NID, ICM en VIRM waargenomen, die ook nu (jaar 2022) nog de dienstregeling onderhouden. In basis doen veertien treinen per uur station Woerden aan. De rijksnelheden ter hoogte van de bouwkaavel zijn zeer uiteenlopend, van bijna stilstaand tot doorgaande treinen met een snelheid van 140 km/u.

Naast personenvervoer wordt het spoor ook gebruikt voor goederenvervoer. Uit de jaarrapportage van ProRail over het jaar 2020 is op te maken dat het om circa 4.100 goederentreinen per jaar gaat, zo'n acht goederenpassages per etmaal per richting. Het aantal goederentreinen op deze lijn vertoont een dalende trend van ongeveer 5.600 per jaar in 2016 naar 3.700 in 2019, maar is in 2020 weer wat gestegen naar 4.100 stuks. De globaal dalende trend komt onder andere door toenemend gebruik van de Betuweroute. De recente lichte stijging door autonome groei van het spoorgoederenvervoer in Nederland.

figuur 3: luchtfoto met meetpunten en bouwlocatie Minkemalaan (rode kader)

Bron: Google Maps

In figuur 3 zijn de meetposities weergegeven. De horizontale X-richting is haaks op het spoor en de Y-richting parallel aan het spoor. Voor de metingen is gebruik gemaakt van meetsystemen van het merk en type Profound Vibra-sbr. Deze systemen worden jaarlijks gekalibreerd. De sensoren zijn ingegraven op een diepte van circa 30 cm voor goed contact met de bodem. Tabel 2 geeft een overzicht van de gebruikte meetapparatuur.

Meetlijn	Meetpunt	Afstand tot spoor	DGMR id.	Serienummer
Meetlijn west	Mp1	25 m	AH0071	VIB00485
	Mp2	50 m	AH0073	VIB00488
	Mp3	75 m	AH0088	VIB01045

De prognose is gebaseerd op de top-15 qua trillingen zwaarste treinen. Hiervan is het statistisch maximum met een betrouwbaarheid van 95% bepaald. Het bijbehorende trillingsspectrum (1/3-octaf) is gebruikt als input voor het prognosemodel.

De meetsystemen meten de maximale trillingssterkte V_{top} en de voor trillinghinder maatgevende effectieve trillingssterkte V_{eff} . De V_{eff} wordt gemeten in 30 seconden intervallen volgens de SBR-B.

Voor het herkennen van eventuele verstoringen is dit te grof. Daarvoor is gebruik gemaakt van het trillingssignaal V_{top} , dat op een korter meetinterval van 3 seconden is ingesteld en hiervoor meer geschikt is. Van de geïdentificeerde treinpassages, die vrij zijn van verstoring, is vervolgens de bijbehorende effectieve trillingssterkte $V_{eff,max}$ geselecteerd voor verdere analyse en prognose. Aan de hand van camerabeelden zijn de qua trillingen zwaarste treinen geïdentificeerd.

5. Meetresultaten

Bijlage 1 geeft een overzicht van treinpassages en eventuele verstoringen gedurende een week meten op de kavel. Afgebeeld is de trillingssterkte V_{top} , die, zoals in paragraaf 4.2 is omschreven, wordt gebruikt voor identificatie van de treinpassages. Uit de onderliggende registraties van de V_{eff} is vervolgens de top-15 treinpassages geselecteerd en statistisch verwerkt volgens de in de SBR-B aangegeven methodiek.

Tabel 3 toont de top-15 (effectieve) trillingssterkten $V_{eff,max}$. De passages zijn gerangschikt op aflopende trillingssterkte in verticale richting, geldend voor het eerste meetpunt Mp1 (25m).

tabel 3: trillingssterkten $V_{eff,max}$ (top-15) in de bodem

Top		Mp1 (25 m)			Mp2 (50 m)			Mp3 (75 m)		
		X*	Y*	Z*	X	Y	Z	X	Y	Z
1	21/9/19 01:14	0,28	0,27	0,73	0,28	0,20	0,47	0,17	0,28	0,42
2	17/9/19 11:48	0,34	0,30	0,68	0,14	0,18	0,32	0,14	0,17	0,25
3	23/9/19 10:17	0,33	0,27	0,66	0,14	0,18	0,28	0,17	0,18	0,31
4	16/9/19 21:40	0,33	0,17	0,66	0,13	0,13	0,28	0,14	0,14	0,23
5	19/9/19 11:15	0,25	0,20	0,59	0,17	0,14	0,26	0,15	0,14	0,2
6	17/9/19 13:44	0,27	0,21	0,53	0,16	0,12	0,27	0,14	0,14	0,23
7	20/9/19 11:57	0,22	0,15	0,52	0,14	0,12	0,34	0,16	0,16	0,22
8	17/9/19 13:50	0,16	0,13	0,51	0,16	0,10	0,32	0,17	0,19	0,32
9	19/9/19 23:52	0,17	0,16	0,50	0,16	0,14	0,32	0,16	0,18	0,20
10	19/9/19 05:15	0,18	0,15	0,48	0,16	0,10	0,23	0,17	0,13	0,24
11	19/9/19 15:13	0,23	0,20	0,47	0,18	0,12	0,28	0,14	0,12	0,20
12	21/9/19 15:47	0,17	0,15	0,47	0,16	0,11	0,34	0,14	0,14	0,22
13	17/9/19 22:46	0,16	0,15	0,47	0,14	0,13	0,38	0,15	0,15	0,21
14	19/9/19 20:47	0,22	0,17	0,46	0,16	0,14	0,29	0,26	0,19	0,34
15	19/9/19 21:44	0,29	0,15	0,45	0,15	0,11	0,22	0,11	0,12	0,17
Aantal passages (n)		15								
Gemiddelde (μ)		0,24	0,19	0,55	0,16	0,13	0,31	0,16	0,16	0,25
Standaarddeviatie (σ)		0,06	0,05	0,09	0,04	0,03	0,06	0,03	0,04	0,07
$V_{eff,max,stat}$		0,39	0,31	0,74	0,24	0,20	0,44	0,23	0,25	0,40

* X-richting $\perp$ spoor, Y-richting // spoor en Z-richting verticaal

Uit de meetresultaten in tabel 3 en de beeldregistraties blijkt dat:

- de top-15 alleen bestaat uit goederentreinen;
- op alle meetpunten de Z-richting (verticaal) dominant is;
- de trillingsafname in verticale richting van Mp2 (50m) naar Mp3 (75m) beperkt is.

Analyse

Uit spectrale analyse blijkt dat het trillingsbeeld sterk bepaald wordt door een laagfrequente piek rond 5 Hz. De geringe trillingsafname met toenemende afstand tot het spoor komt doordat deze laagfrequente trilling het karakter heeft van een lijnbron, waarvoor geldt dat trillingen (oppervlaktegolven) slechts afnemen door demping maar niet door geometrisch afname (verspreiding). Hierdoor treden er op relatief grote afstand van het spoor nog goed voelbare trillingen in de bodem op. Het prognosemodel is afgestemd op dit karakteristieke trillingsverloop.

6. Prognose

6.1 Methode

De trillingsprognose is gebaseerd op een empirisch rekenmodel, dat aansluit bij de op de kavel gemeten trillingssterkten. Voor de overdrachtskenmerken van de gebouwconstructie is gebruik gemaakt van gemeten trillingsoverdrachten aan woningen aan de noordzijde van het spoor (Staatsliedenbuurt) en aan het kantoorgebouw van Roche (jaar 2007). Daaruit is gebleken dat er bij panden met een paalfundering, op relatief korte afstand tot het spoor, al bij lage frequenties een aanzienlijke overdrachtsverzwakking optreedt. Dit als gevolg van de blokkerende werking van de funderingspalen.

Voor de trillingsversterking van vloeren, wordt gerekend met overdrachtscurven waarbij de maximum versterking optreedt rond de laagste buig-eigenfrequentie van de vloer. Afhankelijk van het vloertype ligt de versterking meestal in de orde van een factor 1 tot 3 (0 tot 10 dB). Dit hangt af van de ligging van vloereigenfrequenties ten opzichte van de dominante frequenties in het treinspectrum. De kavelmetingen wijzen uit dat de meeste trillingsenergie zit bij frequenties tot maximaal 10 Hz. Bij vloeren met een laagste (buig)eigenfrequentie van 12 Hz zal dan geen grote trillingsversterking meer optreden. In de prognoseberekningen wordt dit als uitgangspunt aangenomen.

Omdat het aanlegniveau van de fundatie onder het maaiveld ligt en trillingen in horizontale richting snel afnemen met de diepte, wordt verwacht dat trillingen in verticale richting maatgevend zijn. De mogelijke trillingsversterking van vloeren in verticale richting is hiervoor de belangrijkste reden.

6.2 Resultaten

Bijlage 2 toont de prognoseberekningen voor een appartementencomplex van vier tot zes bouwlagen, uitgevoerd in een betonnen draagconstructie en gefundeerd op palen. De minimale afstand tot het spoor bedraagt 90 meter. De maximale afstand bedraagt ongeveer 170 meter. In tabel 4 zijn de rekenresultaten verzameld.

tabel 4: trillingsprognose ($V_{\max}/V_{\text{per}}$) nieuwbouw, laagste vloereigenfrequentie ≥ 12 Hz

Gebouwtype	Bouwlagen	Richting	Trillingssterkte $V_{\max}$ (V_{per})		
			90 m	130 m	170 m
Appartementen	4-6	Vertikaal	0,12 (0,01)	0,07 (--)	0,04 (--)

Beschouwing

Tabel 4 laat zien dat er in een appartementencomplex van vier tot zes bouwlagen op meer dan 90 meter afstand hooguit net voelbare trillingen zullen optreden tijdens de zwaarste goederen-treinpassages, die incidenteel voorkomen. De berekende trillingssterkte $V_{\max}$ blijft ruim onder de streefwaarde uit de SBR-B geldend voor de nachtperiode. Omdat er nauwelijks treinen zijn die de voelbaarheidsgrens van 0,1 overschrijden is de gemiddelde trillingssterkte V_{per} zeer laag, hooguit 0,01. Dit voldoet eveneens ruim aan de hiervoor geldende streefwaarde uit de SBR-B. Geconcludeerd wordt dat in de geplande wooneenheden geen trillingshinder zal optreden.

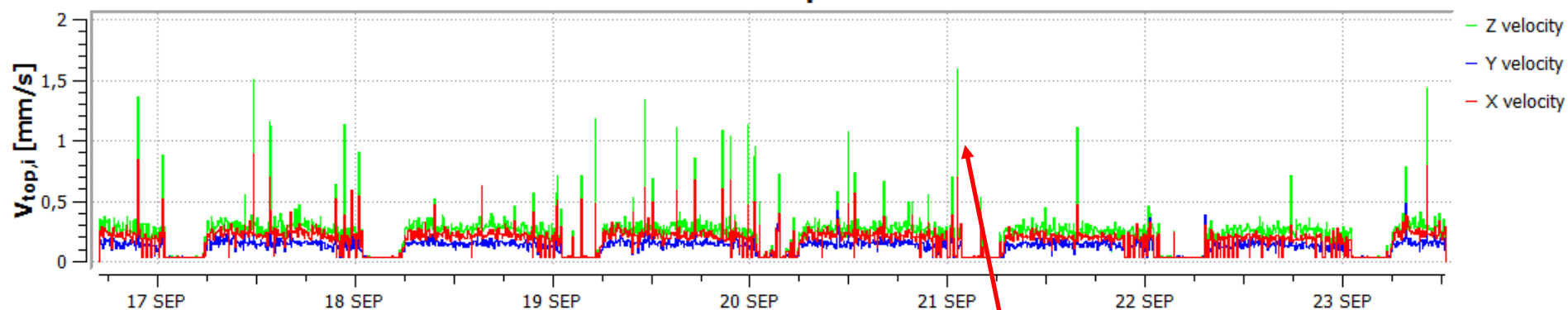
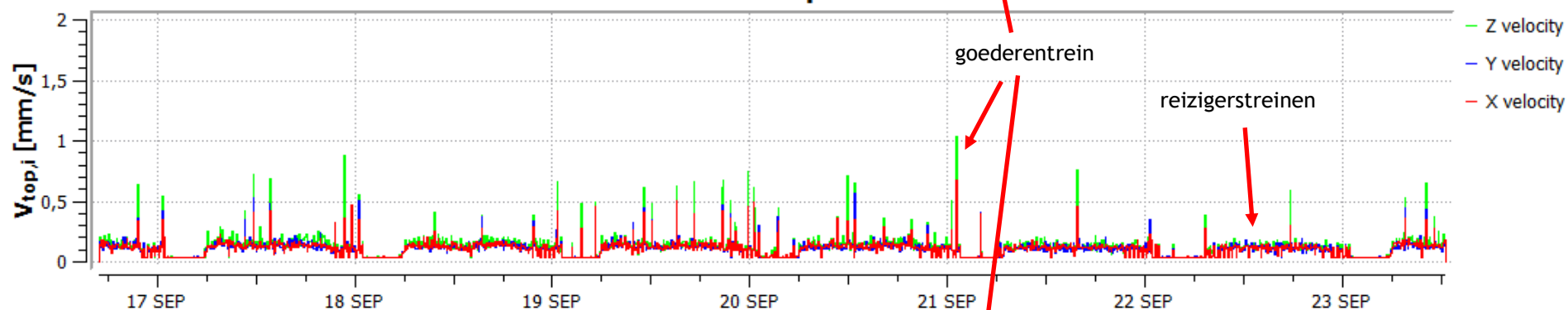
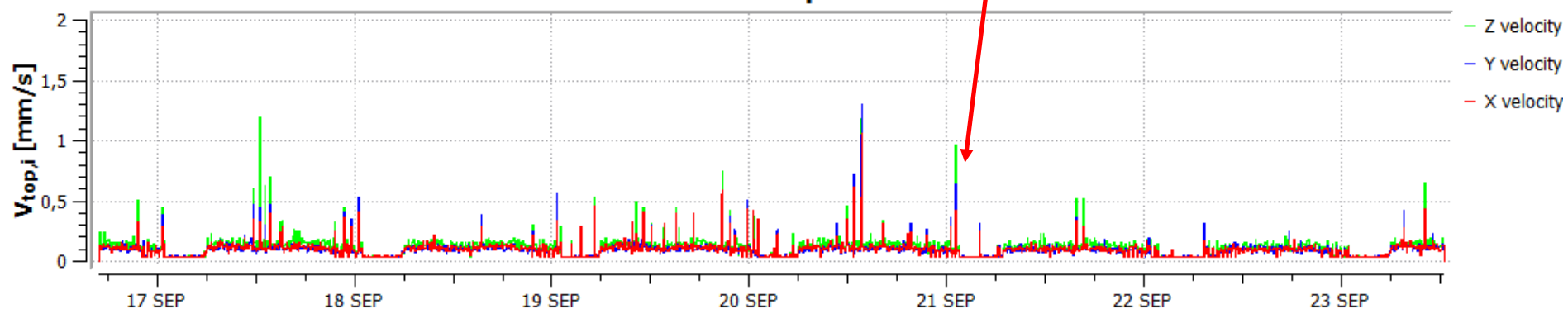
7. Conclusies en aanbevelingen

Uit het trillingsonderzoek blijkt dat de geprojecteerde nieuwbouw op de kavel op de hoek van de Minkemalaan met Jan Ruispad zal voldoen aan de streefwaarden uit de SBR-B. Dit onder de aanname dat het complex wordt voorzien van een paalfundatie, de draagconstructie wordt uitgevoerd in beton en vloeren een laagste buig-eigenfrequentie bezitten van 12 Hz. Er is in dat geval geen trillingshinder te verwachten.

ir. M.H.J. (Mark) Bakermans
DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V.

Bijlage 1

Titel	Trillingsregistraties V_{top}
-------	---------------------------------

VIB00485 - Mp1 - 25m**VIB00488 - Mp2 - 50m****VIB01045 - Mp3 - 75m**

Bijlage 2

Titel	Trillingsprognoses - Afstand tot spoor 90 - 130 - 170m
Omvang	3

Trillingsprognose railverkeer

project Minkemalaan, Woerden
 gebouwtype Appartementen 4-6 lagen
 gebouwafstand (tot spoor) 90 m

bronspectrum Mp1 - 21/9/2019 01:14, Goederentrein
 vormfactor C_F 0,679
 referentieafstand 25 m
 (verhouding v_{rms}/v_{top})

passages per uur 1 (alleen $V_{eff} > 0,1$)
 peiljaar 2021
 rijsnelheid 85 km/u
 referentie snelheid 85 km/u

Bodemtrillingen

1/3-octaf	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	som
bronspectrum (rms, gem)					82	98	107	117	97	95	104	86	86	77	76	76	74	75	75	76	74				118
spreiding					3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0				
bronspectrum (rms, max)					85	101	110	120	100	98	107	89	89	80	79	79	77	78	78	79	77				121
snelheidscorrectie																									
afstandscorrectie					-10,1	-9,6	-9,6	-9,6	-9,6	-9,6	-9,6	-9,6	-9,6	-11,8	-14,4	-17,9	-22,4	-27,7	-29,3	-29,3	-29,3				
L_v [dB]					75	91	100	110	91	88	97	79	79	68	64	61	55	50	49	50	48				111
v_{rms} [mm/s]					0,01	0,04	0,11	0,33	0,03	0,03	0,07	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,36
																									V_{top}
																									0,53

SBR-A / Gebouwschade

Stijf punt fundatie	gebouwtype:	User defined 2	appartementen 4-6 lagen																						
$H_{v,1}$ [dB]					-15,9	-14,3	-11,0	-8,0	-6,0	-5,3	-6,0	-6,4	-6,8	-7,4	-8,2	-9,4	-11,2	-14,0	-14,0	-14,0	-14,0				
L_v [dB]					59	77	89	102	85	83	91	73	73	61	56	52	44	36	35	36	34				103
v_{rms} [mm/s]					0,00	0,01	0,03	0,13	0,02	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,14
																									V_{top}
																									0,21

SBR-C / Verstoring van apparatuur (v_{rms})

Begane grond		vloertype:		vloertype 3		(fo = 10-20 Hz)																		
H _{v,vloer}				0,7	0,8	1,1	1,5	2,1	3,2	5,1	6,8	8,0	7,6	7,0	6,4	5,8	5,1	4,1	3,2	2,3				
L _v [dB]				60	78	91	104	87	86	96	79	80	68	63	58	50	41	39	39	36				105
v _{rms} [mm/s]				0,00	0,01	0,03	0,16	0,02	0,02	0,07	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,18
																						V _{top}	0,26	
3e verdieping		vloertype:		vloertype 3		(fo = 10-20 Hz)																		
H _{v,3} [dB]				0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
H _{v,vloer} [dB]				0,7	0,8	1,1	1,5	2,1	3,2	5,1	6,8	8,0	7,6	7,0	6,4	5,8	5,1	4,1	3,2	2,3				
L _v [dB]				60	78	91	104	87	86	96	79	80	68	63	58	50	41	39	39	36				105
v _{rms} [mm/s]				0,00	0,01	0,03	0,16	0,02	0,02	0,07	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,18
																						V _{top}	0,26	
6e verdieping		vloertype:		vloertype 3		(fo = 10-20 Hz)																		
H _{v,3} [dB]				0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
H _{v,vloer} [dB]				0,7	0,8	1,1	1,5	2,1	3,2	5,1	6,8	8,0	7,6	7,0	6,4	5,8	5,1	4,1	3,2	2,3				
L _v [dB]				60	78	91	104	87	86	96	79	80	68	63	58	50	41	39	39	36				105
v _{rms} [mm/s]				0,00	0,01	0,03	0,16	0,02	0,02	0,07	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,18
																						V _{top}	0,26	

SBR-B / Hinder voor personen (v_{eff})

Begane grond																							
SBR-weging	-15,1	-13,2	-11,2	-9,5	-7,8	-6,1	-4,7	-3,5	-2,5	-1,7	-1,2	-0,8	-0,5	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	
L _v [dB]					52	72	86	100	84	84	95	79	80	68	63	58	49	41	39	39	36		102
v _{eff,max} [mm/s]					0,00	0,00	0,02	0,10	0,02	0,02	0,06	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,12
																				V _{per} *		0,008	
3e verdieping																							
L _v [dB]					52	72	86	100	84	84	95	79	80	68	63	58	49	41	39	39	36		102
v _{eff,max} [mm/s]					0,00	0,00	0,02	0,10	0,02	0,02	0,06	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,12
																				V _{per} *		0,008	
6e verdieping																							
L _v [dB]					52	72	86	100	84	84	95	79	80	68	63	58	49	41	39	39	36		102
v _{eff,max} [mm/s]					0,00	0,00	0,02	0,10	0,02	0,02	0,06	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,12
																				V _{per} *		0,008	

Trillingsprognose railverkeer

project Minkemalaan, Woerden
 gebouwtype Appartementen 4-6 lagen
 gebouwafstand (tot spoor) 130 m

bronspectrum
 vormfactor C_F 0,679
 referentieafstand 25 m

Mp1 - 21/9/2019 01:14, Goederentrein
 (verhouding v_{rms}/v_{top})

passages per uur 1 (alleen $V_{eff} > 0,1$)
 peiljaar 2021
 rijsnelheid 85 km/u
 referentie snelheid 85 km/u

Bodemtrillingen

1/3-octaf	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	som
bronspectrum (rms, gem)					82	98	107	117	97	95	104	86	86	77	76	76	74	75	75	76	74				118
spreiding					3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0				
bronspectrum (rms, max)					85	101	110	120	100	98	107	89	89	80	79	79	77	78	78	79	77				121
snelheidscorrectie																									
afstandscorrectie					-15,4	-14,9	-14,9	-14,9	-14,9	-14,9	-14,9	-14,9	-15,0	-18,4	-22,7	-28,3	-35,6	-44,2	-46,8	-46,8	-46,8				
L_v [dB]					70	86	95	105	86	83	92	74	74	61	56	51	42	33	32	33	30				106
v_{rms} [mm/s]					0,00	0,02	0,06	0,18	0,02	0,01	0,04	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,20
																						V_{top}			0,29

SBR-A / Gebouwschade

Stijf punt fundatie	gebouwtype:	User defined 2	appartementen 4-6 lagen																						
$H_{v,1}$ [dB]			-15,9	-14,3	-11,0	-8,0	-6,0	-5,3	-6,0	-6,4	-6,8	-7,4	-8,2	-9,4	-11,2	-14,0	-14,0	-14,0	-14,0	-14,0	-14,0				
L_v [dB]			54	72	84	97	80	78	86	67	67	54	48	41	31	19	18	19	17						98
v_{rms} [mm/s]			0,00	0,00	0,02	0,07	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,08
																					V_{top}				0,11

SBR-C / Verstoring van apparatuur (v_{rms})

Begane grond	vloertype:	vloertype 3 (f ₀ = 10-20 Hz)																								
H _{v,vloer}		0,7	0,8	1,1	1,5	2,1	3,2	5,1	6,8	8,0	7,6	7,0	6,4	5,8	5,1	4,1	3,2	2,3								
L _v [dB]		55	73	85	99	82	81	91	74	75	62	55	48	36	24	22	22	19						100		
v _{rms} [mm/s]		0,00	0,00	0,02	0,09	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						0,10		
																		V _{top}					0,14			
3e verdieping	vloertype:	vloertype 3 (f ₀ = 10-20 Hz)																								
H _{v,3} [dB]		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0								
H _{v,vloer} [dB]		0,7	0,8	1,1	1,5	2,1	3,2	5,1	6,8	8,0	7,6	7,0	6,4	5,8	5,1	4,1	3,2	2,3								
L _v [dB]		55	73	85	99	82	81	91	74	75	62	55	48	36	24	22	22	19						100		
v _{rms} [mm/s]		0,00	0,00	0,02	0,09	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						0,10		
																		V _{top}					0,14			
6e verdieping	vloertype:	vloertype 3 (f ₀ = 10-20 Hz)																								
H _{v,3} [dB]		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0								
H _{v,vloer} [dB]		0,7	0,8	1,1	1,5	2,1	3,2	5,1	6,8	8,0	7,6	7,0	6,4	5,8	5,1	4,1	3,2	2,3								
L _v [dB]		55	73	85	99	82	81	91	74	75	62	55	48	36	24	22	22	19						100		
v _{rms} [mm/s]		0,00	0,00	0,02	0,09	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						0,10		
																		V _{top}					0,14			

SBR-B / Hinder voor personen (v_{eff})

Begane grond																							
SBR-weging	-15,1	-13,2	-11,2	-9,5	-7,8	-6,1	-4,7	-3,5	-2,5	-1,7	-1,2	-0,8	-0,5	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0		
L _v [dB]					47	67	81	95	79	79	90	73	75	61	55	48	36	24	22	22	19		
v _{eff,max} [mm/s]					0,00	0,00	0,01	0,06	0,01	0,01	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
																					V _{per} *	0,000	
																						0,07	
3e verdieping																							
L _v [dB]					47	67	81	95	79	79	90	73	75	61	55	48	36	24	22	22	19		
v _{eff,max} [mm/s]					0,00	0,00	0,01	0,06	0,01	0,01	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
																					V _{per} *	0,000	
																						0,07	
6e verdieping																							
L _v [dB]					47	67	81	95	79	79	90	73	75	61	55	48	36	24	22	22	19		
v _{eff,max} [mm/s]					0,00	0,00	0,01	0,06	0,01	0,01	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
																					V _{per} *	0,000	
																						0,07	

Trillingsprognose railverkeer

project Minkemalaan, Woerden
 gebouwtype Appartementen 4-6 lagen
 gebouwafstand (tot spoor) 170 m

bronspectrum Mpl - 21/9/2019 01:14, Goederentrein
 vormfactor C_F 0,679 (verhouding v_{rms}/v_{top})
 referentieafstand 25 m

passages per uur 1 (alleen $V_{eff} > 0,1$)
 peiljaar 2021
 rijsnelheid 85 km/u
 referentie snelheid 85 km/u

Bodemtrillingen

1/3-octaf	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	som
bronspectrum (rms, gem)					82	98	107	117	97	95	104	86	86	77	76	76	74	75	75	76	74				118
spreiding					3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0				
bronspectrum (rms, max)					85	101	110	120	100	98	107	89	89	80	79	79	77	78	78	79	77				121
snelheidscorrectie																									
afstandscorrectie					-20,6	-20,1	-20,1	-20,1	-20,1	-20,1	-20,1	-20,1	-20,2	-24,9	-30,9	-38,6	-48,7	-60,6	-64,2	-64,2	-64,2				
L_v [dB]					65	81	90	100	80	78	87	68	69	55	48	40	29	17	14	15	13				101
v_{rms} [mm/s]					0,00	0,01	0,03	0,10	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,11
																									V_{top}
																									0,16

SBR-A / Gebouwschade

Stijf punt fundatie	gebouwtype:	User defined 2	appartementen 4-6 lagen																						
$H_{v,1}$ [dB]					-15,9	-14,3	-11,0	-8,0	-6,0	-5,3	-6,0	-6,4	-6,8	-7,4	-8,2	-9,4	-11,2	-14,0	-14,0	-14,0	-14,0				
L_v [dB]					49	67	79	92	74	72	81	62	62	47	40	31	17	3	0	1	-1				93
v_{rms} [mm/s]					0,00	0,00	0,01	0,04	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,04
																									V_{top}
																									0,06

SBR-C / Verstoring van apparatuur (v_{rms})

Begane grond		vloertype:	vloertype 3 (fo = 10-20 Hz)																				
H _{v,yloer}			0,7	0,8	1,1	1,5	2,1	3,2	5,1	6,8	8,0	7,6	7,0	6,4	5,8	5,1	4,1	3,2	2,3				
L _v [dB]			50	67	80	93	76	76	86	69	70	55	47	37	23	8	4	4	1		94		
v _{rms} [mm/s]			0,00	0,00	0,01	0,05	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,05		
																			V _{top}	0,08			

3e verdieping		vloertype:	vloertype 3 (fo = 10-20 Hz)																				
H _{v,3} [dB]			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
H _{v,yloer} [dB]			0,7	0,8	1,1	1,5	2,1	3,2	5,1	6,8	8,0	7,6	7,0	6,4	5,8	5,1	4,1	3,2	2,3				
L _v [dB]			50	67	80	93	76	76	86	69	70	55	47	37	23	8	4	4	1		94		
v _{rms} [mm/s]			0,00	0,00	0,01	0,05	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,05		
																			V _{top}	0,08			

6e verdieping		vloertype:	vloertype 3 (fo = 10-20 Hz)																				
H _{v,3} [dB]			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
H _{v,yloer} [dB]			0,7	0,8	1,1	1,5	2,1	3,2	5,1	6,8	8,0	7,6	7,0	6,4	5,8	5,1	4,1	3,2	2,3				
L _v [dB]			50	67	80	93	76	76	86	69	70	55	47	37	23	8	4	4	1		94		
v _{rms} [mm/s]			0,00	0,00	0,01	0,05	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,05		
																			V _{top}	0,08			

SBR-B / Hinder voor personen (v_{eff})

Begane grond																									
SBR-weging	-15,1	-13,2	-11,2	-9,5	-7,8	-6,1	-4,7	-3,5	-2,5	-1,7	-1,2	-0,8	-0,5	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
L_v [dB]	42	61	75	90	74	74	85	68	69	55	46	37	23	8	4	4	1								91
$v_{eff,max}$ [mm/s]	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
																									V_{per}^*
																									0,000
3e verdieping																									
L_v [dB]	42	61	75	90	74	74	85	68	69	55	46	37	23	8	4	4	1								91
$v_{eff,max}$ [mm/s]	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
																									V_{per}^*
																									0,000
6e verdieping																									
L_v [dB]	42	61	75	90	74	74	85	68	69	55	46	37	23	8	4	4	1								91
$v_{eff,max}$ [mm/s]	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
																									V_{per}^*
																									0,000