

Maatschap Crossroads
t.a.v. dhr. Roskam
Parklaan 1
5061 JV OISTERWIJK

datum 8 maart 2023
uw brief van -
uw kenmerk -
projectnummer 0473989.100
onderwerp Rapportage trillingsonderzoek Bosscheweg 240/242 te Tilburg

Geachte heer Roskam,

Hierbij sturen wij u de aangepaste rapportage toe omtrent het uitgevoerde trillingsonderzoek ter plaatse van het ontwikkelgebied Bosscheweg 240/242 te Tilburg (Noord-Brabant). Dit naar aanleiding van de opmerkingen vanuit de Omgevingsdienst Midden- en West Brabant (zaaknummer 2022-051152).

Voor de resultaten alsmede de conclusies omtrent het uitgevoerde trillingsonderzoek verwijzen wij u graag naar de bijlage.

Met vriendelijke groet,



Juriaan Heijmans
Projectleider Antea Group

Bijlage

Bijlage 1 Trillingsonderzoek Bosscheweg 240/242 te Tilburg

contactpersoon: J.G. Heijmans
e-mail: juriaan.heijmans@anteagroup.nl
bijlage(n):

T 06 10 05 68 99

gecontroleerd: 

Bijlage 1 Trillingsonderzoek Bosscheweg 240/242 te Tilburg



**Meetonderzoek naar spoortrillingen met
betrekking tot een nieuw te realiseren
appartementencomplex aan de Bosscheweg
242 te Tilburg.**

Opdrachtgever: Antea Group
Postbus 40
490A AA OOSTERHOUT
Contactpersoon: de heer Juriaan Heijmans

Greten Raadgevende Ingenieurs BV

bezoekadres
Vijfhuizenberg 167
4708 AJ Roosendaal

postadres
postbus 1091
4700 BB Roosendaal

telefoon
(0165) 56 52 58

internet
greten.nl



Inhoudsopgave

1.	Inleiding	3
2.	Normstelling.....	4
2.1.	Inleiding	4
2.2.	Streefwaarden	4
2.3.	Voorlopige beleidslijn gemeente Tilburg	5
3.	Situatie.....	6
4.	Meetresultaten	14
4.1.	Gehanteerde meetapparatuur	14
4.2.	Meetopstelling.....	14
4.3.	Meetresultaten.....	16
5.	Trillingen ter plaatse van de fundering van de nieuwbouw	19
5.1.	Afstandsverzwakking.....	19
5.2.	Type fundering.....	19
5.3.	Trillingsniveau op de fundering van de nieuwbouw.....	20
6.	Vloertrillingen	21
7.	Conclusies en aanbevelingen	26
Bijlage I:	Tijdverloop $V_{\text{eff, max}}$ over de gehele meetperiode;	
Bijlage II:	$V_{\text{eff, max}}$ samengevat per etmaaltijdstip + V_{per}	
Bijlage III:	berekening $V_{\text{max, stat}}$ dagperiode	
Bijlage IV:	berekening $V_{\text{max, stat}}$ avondperiode	
Bijlage V:	berekening $V_{\text{max, stat}}$ nachtperiode	
Bijlage VI:	FFT spectra spoortrillingen gemeten op fundering in y-richting tijdens maatgevende treinpassages in de nachtperiode	
Bijlage VII:	berekening eigenfrequenties vloervelden appartementen D2 en D6	
Bijlage VIII:	berekening opslingering vloervelden op basis van een één massa-veer-demper systeem	



1. Inleiding

In opdracht van de Antea Group is door Greten Raadgevende Ingenieurs een onderzoek verricht naar spoortrillingen ter plaatse van een nieuw te realiseren appartementencomplex aan de Bosscheweg 242 te Tilburg.

Het onderzoek bestaat uit de volgende onderdelen:

- ☐ Het registreren van spoortrillingen gedurende één week op een geschikte meetlocatie (maaiveld evenals fundering bestaande loads). De metingen worden verricht met behulp van twee *Profound Vibra⁺* meetsystemen, beiden voorzien van een 3D sensor (snelheidsopnemers). De metingen worden verricht conform SBR Richtlijn B – Hinder voor personen in gebouwen;
- ☐ Het (statistisch) uitwerken van de metingen conform SBR B;
- ☐ Het bepalen/ inschatten van de overdracht van het maaiveld c.q. de fundering naar de vloeren van het nieuwe woongebouw op basis van de metingen en de publicatie “rekenmodel voor de trillingssterkte”, VROM 1995;
- ☐ Het toetsen van de voor de overdrachtsdemping gecorrigeerde meetresultaten aan SBR Richtlijn B;
- ☐ Het indien noodzakelijk adviseren van maatregelen, aansluitend bij de Maatregelen Catalogus Spoortrillingen (Grontmij, 2016);

Aanleiding tot dit onderzoek is de realisatie van een appartementencomplex dat binnen een afstand van 100 meter van de spoorlijn Den Bosch – Tilburg wordt gesitueerd. De afstand van de kortst zijzijnde nieuwe zuidgevel tot de buitenste noordelijke spoorlijn bedraagt circa 43,5 meter.



2. Normstelling

2.1. Inleiding

Voor trillingshinder in woningen wordt in Nederland SBR-richtlijn deel B aangehouden. Naar deze richtlijn wordt ook verwezen in de Beleidsregel trillingshinder spoor.

In de SBR-richtlijn deel B zijn voor de kwalificatie van trillingshinder een aantal grootheden van belang, namelijk:

- ☐ $V_{\max}$: maximale trillingssterkte. Deze wordt bepaald per meetpunt en per meetrichting en is het maximum van de $V_{\text{eff}, \max, 30}$;
- ☐ $V_{\text{eff}, \max, 30}$: dit is het maximum van de effectieve waarde (maat voor de trillingsenergie) van de trilling over een periode van 30 seconden. Ook deze waarde wordt bepaald per meetpunt en meetrichting;
- ☐ V_{per} : dit is een maat voor de effectieve waarde van de trilling gedurende een gehele beoordelingsperiode (dag, avond of nacht) en kan worden geïnterpreteerd als een energetische gemiddelde van de trillingsenergie.

2.2. Streefwaarden

Voor nieuwe situaties (bestaande bron en een nieuwe ontvanger) zijn de volgende streefwaarden van toepassing:

Tabel 2.1 (bron: tabel 2 uit SBR B) bevat de streefwaarden:

Tabel 2.1: streefwaarden voor herhaald voorkomende trillingen (weg – en railverkeer) voor nieuwe situaties

gebouwfunctie	dag en avond			nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
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/ kantoor	0,15	0,6	0,07	0,15	0,6	0,07
Bijeenkomst	0,15	0,6	0,07	0,15	0,6	0,07
Kritische werkruimte	0,1	0,1	-	0,1	0,1	-

Daar er sprake is van nieuw te realiseren woningbouw wordt aangesloten bij de streefwaarden behorende bij de gebouwfunctie Wonen.



In tabel 2.1 worden de streefwaarden aangegeven door:

- ☐ A_1 : onderste streefwaarde voor de trillingssterkte $V_{\max}$;
- ☐ A_2 : bovenste streefwaarde voor de trillingssterkte $V_{\max}$;
- ☐ A_3 : streefwaarde voor de trillingssterkte V_{per} .

De beoordeling gaat als volgt:

Er wordt voldaan aan de streefwaarden indien:

- ☐ de waarde van de maximale trillingssterkte in een ruimte ($V_{\max}$) kleiner is dan A_1 of
- ☐ de waarde van de maximale trillingssterkte van een ruimte ($V_{\max}$) kleiner is dan A_2 waarbij de trillingssterkte over de beoordelingsperiode voor deze ruimte (V_{per}) kleiner is dan A_3 .

2.3. Voorlopige beleidslijn gemeente Tilburg

In het voorstel planregel bestemmingsplannen (voorlopige beleidslijn versie 28 augustus 2019) van de gemeente Tilburg wordt gesteld:

Voor situaties waarbij in redelijkheid de streefwaarden voor nieuwbouw niet haalbaar blijkt, vinden wij weinig hinder acceptabel onder de voorwaarde dat de streefwaarden voor bestaande situaties uit de SBR-richtlijn B (zie tabel 3) niet worden overschreden. In de lokale gemeentelijke praktijk worden deze streefwaarden dan ook gehanteerd als grenswaarden. Op deze wijze is voorzien in een marge in de trillingssterkte om de onzekerheden in de prognose van trillingonderzoek en het effect van trillingsreducerende maatregelen op te kunnen vangen.

Tabel 2.2 bevat tabel 3 uit de SBR B waarnaar in de beleidslijn wordt verwezen.

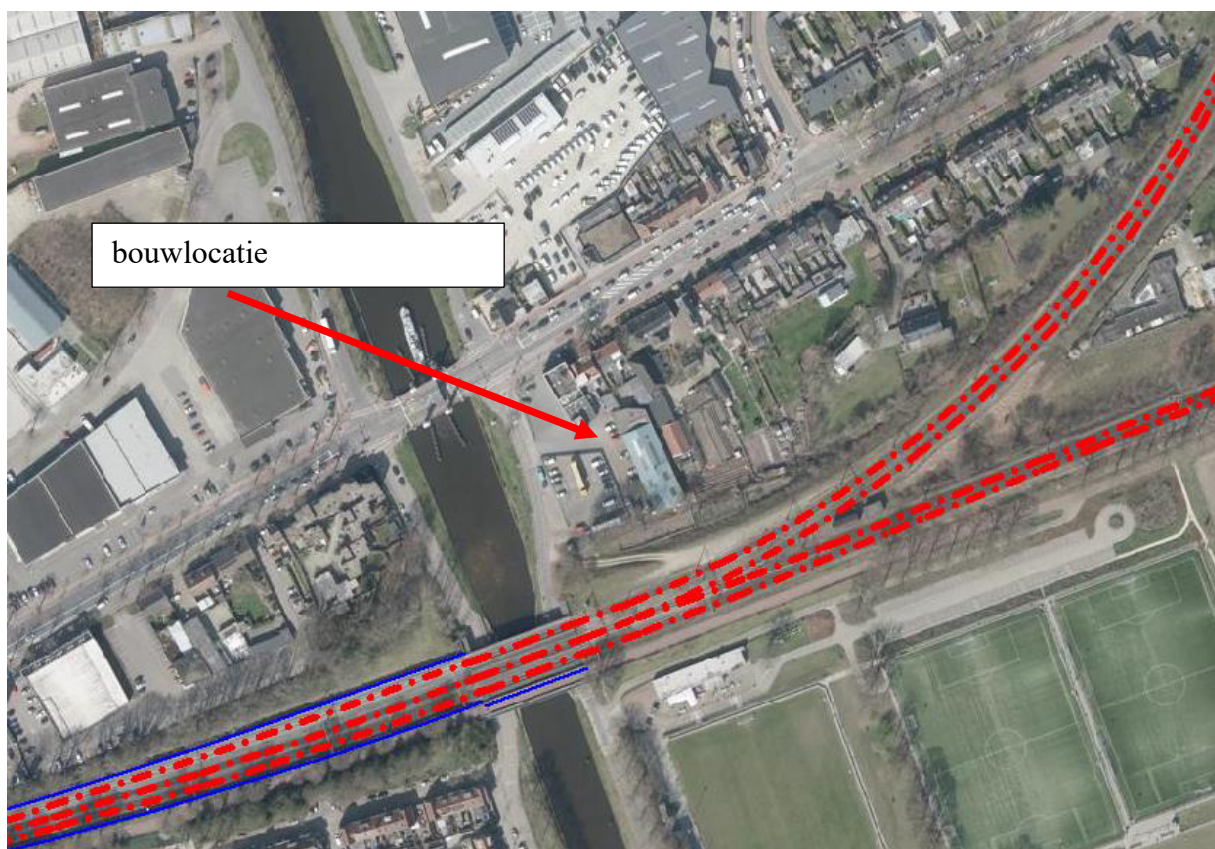
Tabel 2.2: grenswaarden gemeente Tilburg voor herhaald voorkomende trillingen (weg – en railverkeer) voor bestaande situaties

gebouwfunctie	dag en avond			nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
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/ kantoor	0,3	1,2	0,15	0,3	1,2	0,15
Bijeenkomst	0,3	1,2	0,15	0,3	1,2	0,15
Kritische werkruimte	0,1	0,1	-	0,1	0,1	-



3. Situatie

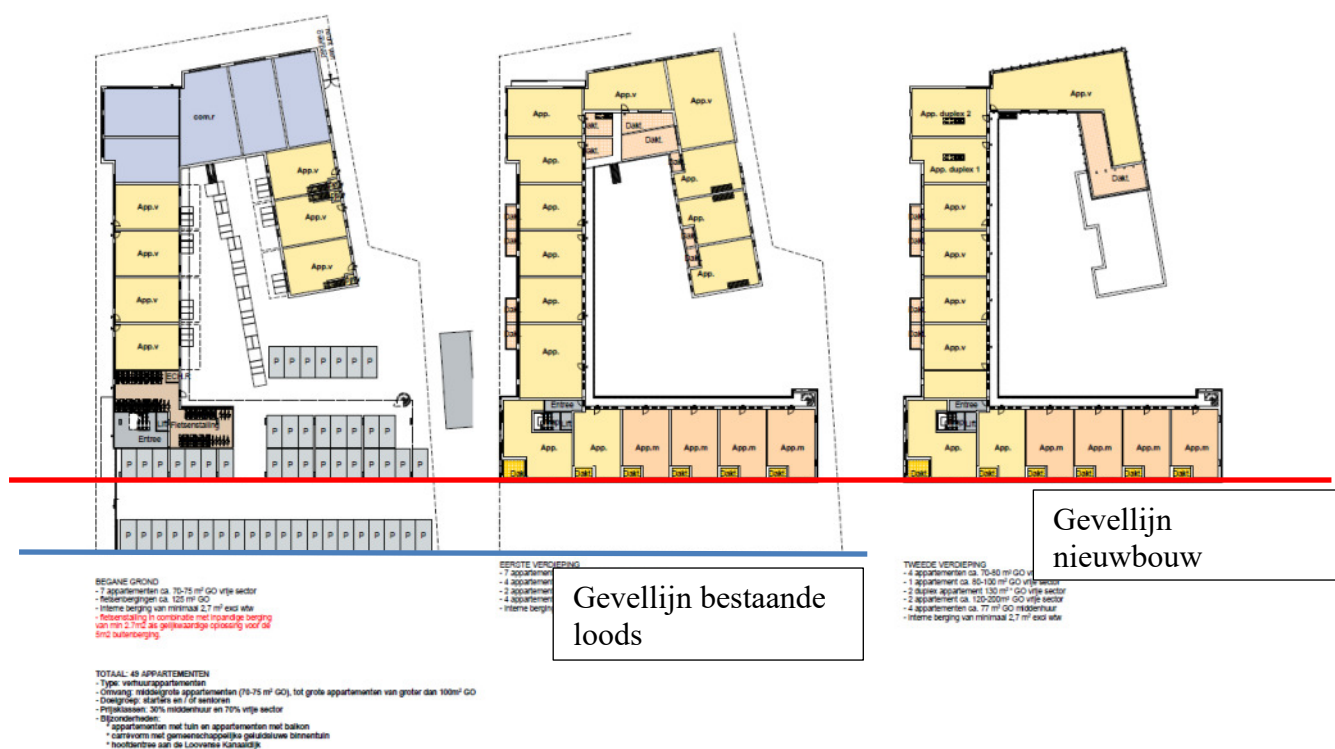
Figuur 3.1 bevat de bouwlocatie, waarbij de nieuw te realiseren zuidgevel van de bebouwing op een afstand van circa 43,5 meter van de meest noordelijk gelegen spoorlijn wordt gesitueerd. Ter hoogte van het bouwperceel splitst het spoor vanuit Tilburg in de richtingen Den Bosch en Eindhoven. De spoorlijnen liggen circa 5 meter hoger dan het maaiveld van de bouwlocatie (bron: AHN viewer).



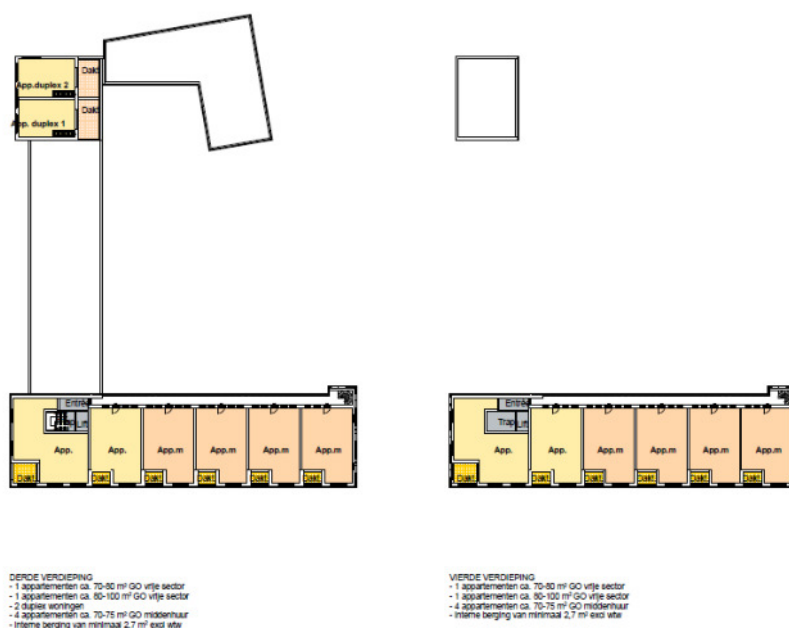
Figuur 3.1: situering bouwlocatie ten opzichte van het spoor.



De figuren 3.3 en 3.4 bevatten de invulling van het terrein. De rode en de blauwe lijnen geven de gevellijnen aan van respectievelijk de nieuwbouw en de bestaande loods.



Figuur 3.3: invulling terrein (begane grond + 1^e en 2^e verdieping)



Figuur 3.4: invulling terrein (3^e en 4^e verdieping)



Figuur 3.5 bevat de gevel van de nieuwbouw, gezien vanuit het spoor. Het betreft een 5-laags appartementengebouw, met een hoogte van circa 16 meter. De figuren 3.6 tot en met 3.8 bevatten voor elke spoorlijn vóór de splitsing (3 spoorlijnen) de intensiteiten (bron Geomilieu/geluidregister spoor (13 juli 2020)). Voor de zuidelijke en noordelijke spoorlijn zijn de figuren beperkt tot de treintypes 16-30 waarin de goederentreinen zijn opgenomen. Uit de figuren kan worden geconcludeerd dat er gedurende de nachtperiode circa 50 goederentreinen passeren.



Figuur 3.5: Gevel nieuwbouw vanuit het spoor gezien.

Baan

Naam	Coördinaten	Eigenschappen	Intensiteit	Emissie
------	-------------	---------------	-------------	---------

Uurintensiteiten per periode

Treintype	Profiel	Q(D)	V(D)	Q(A)	V(A)	Q(N)	V(N)
16 MDDM	Stoppend	0,010	80	0,010	80	--	80
17 MDDM	Stoppend	0,010	116	0,010	116	--	116
18 GOEDEREN	Doorgaand	15,130	80	12,150	80	11,970	80
19 GOEDEREN	Doorgaand	12,500	90	17,910	90	13,020	90
20 DE-LOC	Doorgaand	0,130	80	0,070	80	0,080	80
21 DE-LOC	Doorgaand	0,070	90	0,130	90	0,100	90
22 DE-LOC-6400	Doorgaand	0,420	80	0,380	80	0,350	80
23 DE-LOC-6400	Doorgaand	0,370	90	0,490	90	0,350	90
24 DDM-2/3	Stoppend	0,040	80	0,050	80	--	80
25 DDM-2/3	Stoppend	0,040	116	0,060	116	--	116
26 IC-R-SR	Doorgaand	--	80	--	80	0,090	80
27 IC-R-SR	Stoppend	4,510	80	3,440	80	1,070	80
28 IC-R-SR	Doorgaand	0,010	120	0,220	120	0,110	120
29 IC-R-SR	Stoppend	4,530	116	4,030	116	0,600	116
30 IRM-4	Doorgaand	--	80	0,040	80	0,040	80

Figuur 3.6: Intensiteiten noordelijk gelegen spoorlijn vóór de splitsing. Treintypes met nummers 16 – 30.



Baan

Naam

Coördinaten

Eigenschappen

Intensiteit

Emissie

Uurintensiteiten per periode

	Treintype	Profiel	Q(D)	V(D)	Q(A)	V(A)	Q(N)	V(N)
1	IRM-4	Stoppend	2,960	-122	2,920	-122	0,600	-122
2	IRM-4	Doorgaand	--	120	--	120	0,080	120
3	IRM-4	Stoppend	3,000	116	2,600	116	0,720	116
4	VIRM-6	Stoppend	0,480	-122	0,600	-122	0,240	-122
5	VIRM-6	Doorgaand	--	120	0,060	120	--	120
6	VIRM-6	Stoppend	0,480	116	0,480	116	0,240	116
7	--	Doorgaand	--	--	--	--	--	--
8	--	Doorgaand	--	--	--	--	--	--
9	--	Doorgaand	--	--	--	--	--	--
10	--	Doorgaand	--	--	--	--	--	--
11	--	Doorgaand	--	--	--	--	--	--
12	--	Doorgaand	--	--	--	--	--	--
13	--	Doorgaand	--	--	--	--	--	--
14	--	Doorgaand	--	--	--	--	--	--
15	--	Doorgaand	--	--	--	--	--	--

Figuur 3.7: Intensiteiten middelste spoorlijn vóór de splitsing. Treintypes met nummers 1-6.



Baan

Naam Coördinaten Eigenschappen Intensiteit Emissie

Uurintensiteiten per periode

	Treintype	Profiel	Q(D)	V(D)	Q(A)	V(A)	Q(N)	V(N)	
16	MDDM	Stappend	0,010	-117	0,010	-117	--	-117	
17	MDDM	Stappend	0,010	115	0,010	115	--	115	
18	GOEDEREN	Doorgaand	15,130	90	12,150	90	11,970	90	
19	GOEDEREN	Doorgaand	12,500	90	17,910	90	13,020	90	
20	DE-LOC	Doorgaand	0,130	90	0,070	90	0,080	90	
21	DE-LOC	Doorgaand	0,070	90	0,130	90	0,100	90	
22	DE-LOC-6400	Doorgaand	0,420	90	0,380	90	0,350	90	
23	DE-LOC-6400	Doorgaand	0,370	90	0,490	90	0,350	90	
24	DDM-2/3	Stappend	0,040	-117	0,050	-117	--	-117	
25	DDM-2/3	Stappend	0,040	115	0,060	115	--	115	
26	IC-R-SR	Doorgaand	--	120	--	120	0,090	120	
27	IC-R-SR	Stappend	4,510	-117	3,440	-117	1,070	-117	
28	IC-R-SR	Doorgaand	0,010	120	0,220	120	0,110	120	
29	IC-R-SR	Stappend	4,530	115	4,030	115	0,600	115	
30	IRM-4	Doorgaand	--	120	0,040	120	0,040	120	

Figuur 3.8: Intensiteiten zuidelijk gelegen spoorlijn vóór de splitsing. Treintypes met nummers 16 – 30.

De figuren 3.9 tot en met 3.13 geven een impressie van de bestaande situatie (bron: Google maps).



Figuur 3.9: bestaande locatie, gezien vanuit de Bosscheweg, straatzijde.



Figuur 3.10: bestaande locatie, gezien vanuit de Bosscheweg, rechter zij-aanzicht.



Figuur 3.11: bestaande locatie, gezien vanuit de Bosscheweg, rechter zij-aanzicht.



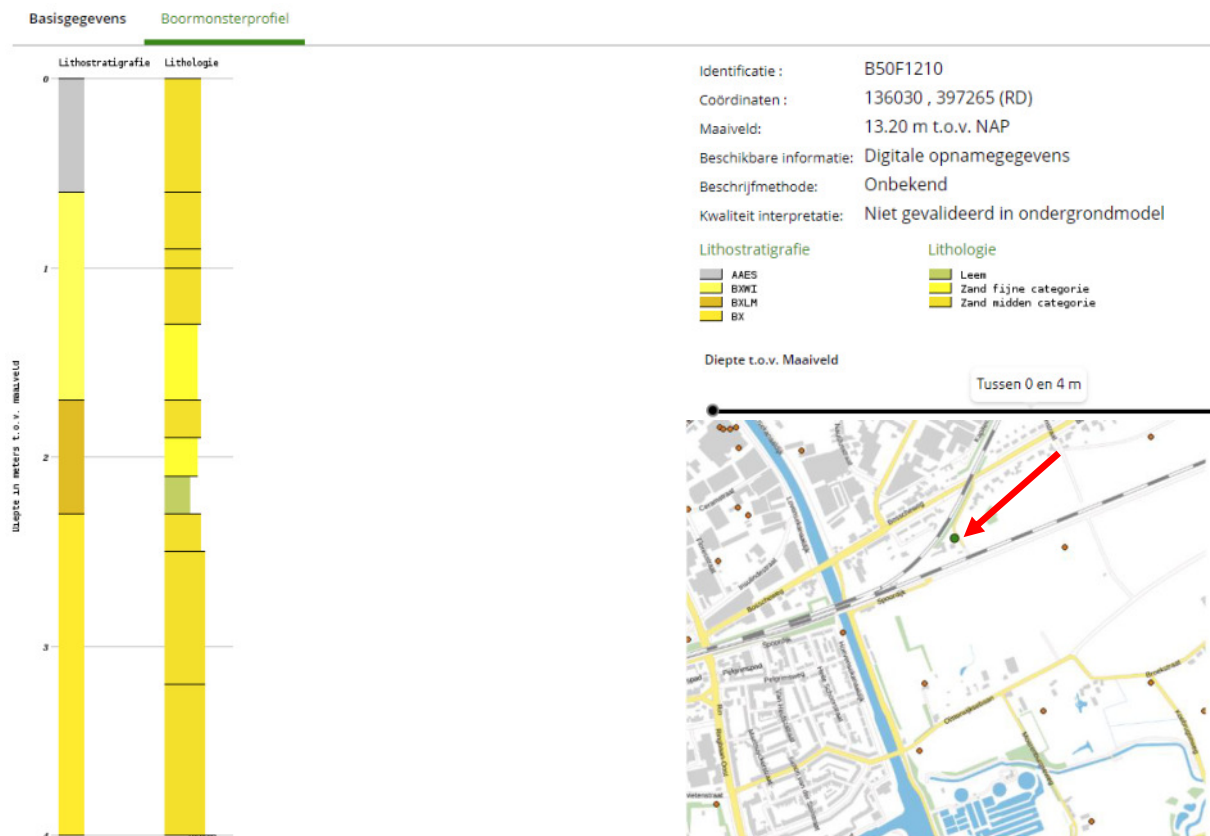
Figuur 3.12: spoor(-viaduct) in zuidelijke richting.



Figuur 3.13: spoor(-viaduct) in zuidelijke richting.



Figuur 3.14 bevat een boormonsterprofiel (bron: www.DINOloket.nl) waaruit blijkt dat de grond onder de toplaag bestaat uit zand in de fijne en midden categorie. De positie van het boormonsterprofiel is weergegeven door een pijl.



Figuur 3.14: boormonsterprofiel in de omgeving van de bouwlocatie.



4. Meetresultaten

4.1. Gehanteerde meetapparatuur

In het onderhavige onderzoek is de volgende meetapparatuur gehanteerd:

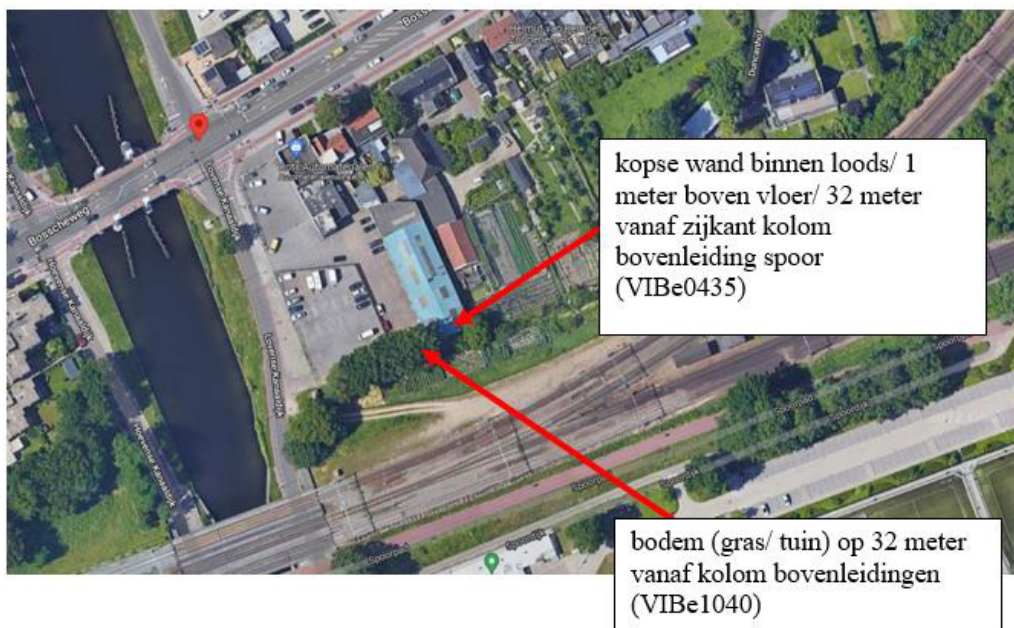
Trillingsmeters/ loggers:

1. Profound VIBRA⁺ (serienummer VIBe0435/ kalibratie 13-3-2020)
2. 3D Geophone (serienummer TDA03008/ kalibratie 13-3-2020)
3. Profound VIBRA⁺ (serienummer VIBe1040/ kalibratie 14-12-2021)
4. 3D Geophone (serienummer TDA03612/ kalibratie 14-12-2021)

De vibra⁺ met serienummer VIBe1040 is gehanteerd voor de registratie van bodemtrillingen. De vibra⁺ met serienummer VIBe0435 is gehanteerd voor de registratie van trillingen op de fundering van een bestaande loods.

4.2. Meetopstelling

Figuur 4.1 bevat de meetopstelling, zie ook de figuren 4.2 en 4.3. Voor de metingen van de bodemtrillingen is de sensor met behulp van een beugel geschroefd op een houten paal die op circa 1 meter diepte in de grond is ingebracht. Voor de registratie van de funderingstrillingen is de sensor met behulp van een beugel rechtstreeks op een gemetselde wand (boven de fundering) geschroefd.



Figuur 4.1: meetopstelling



Figuur 4.2: sensor voor bodemtrillingen



Figuur 4.3: sensor voor funderingstrillingen

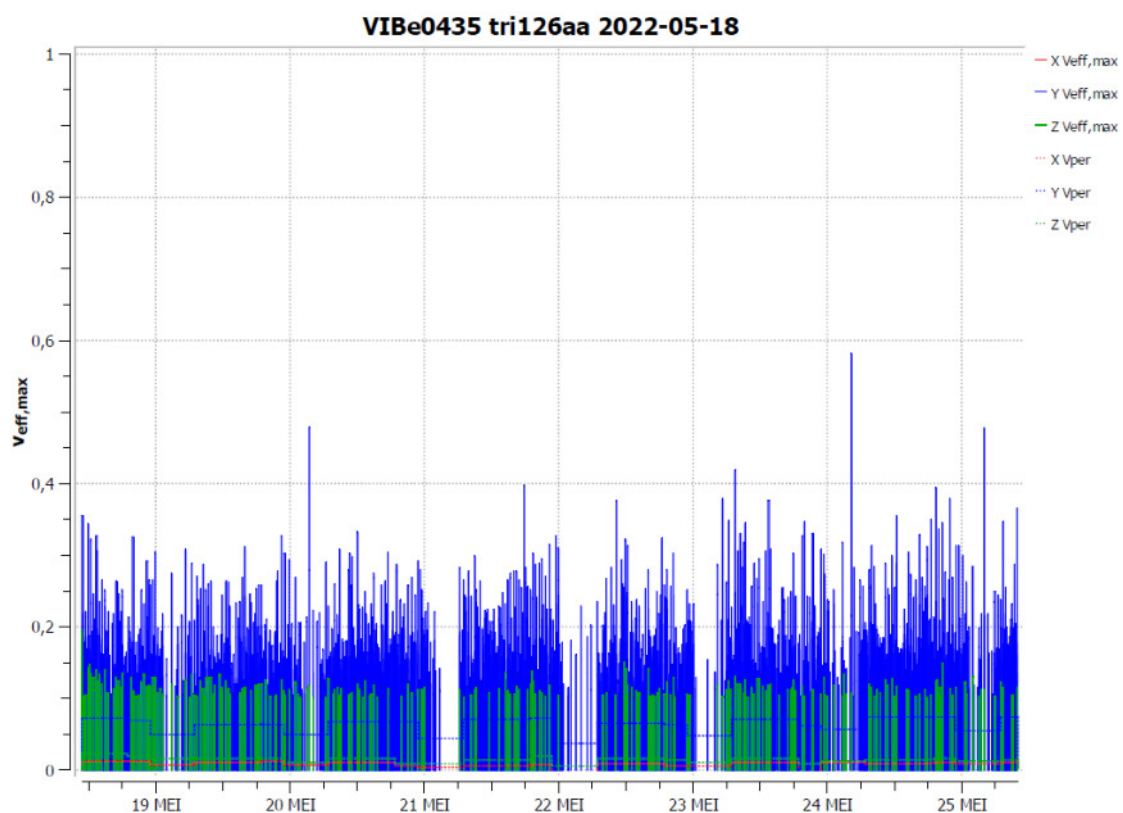
De sensoren zijn beiden als volgt gemonteerd:

- ☐ X-richting richting spoor, horizontaal;
- ☐ Y-richting parallel aan het spoor, horizontaal;
- ☐ Z-richting, verticaal.



4.3. Meetresultaten

Bijlage I en figuur 4.4 bevat de gemeten waarden van de $V_{\text{eff, max}}$ over de gehele meetperiode van 18 mei 2022 10:48:23 tot en met 25 mei 10:06:58 behorende bij het meetpunt op de fundering van de loods. De metingen ter plaatse van het maaiveld zijn gehanteerd om via een correlatie¹ tussen de meetresultaten vast te stellen of en in hoeverre individuele pieken worden veroorzaakt door een treinpassage.



Figuur 4.4: meetresultaten, $V_{\text{eff, max}}$ en V_{per} over de gehele meetperiode (meetpunt fundering).

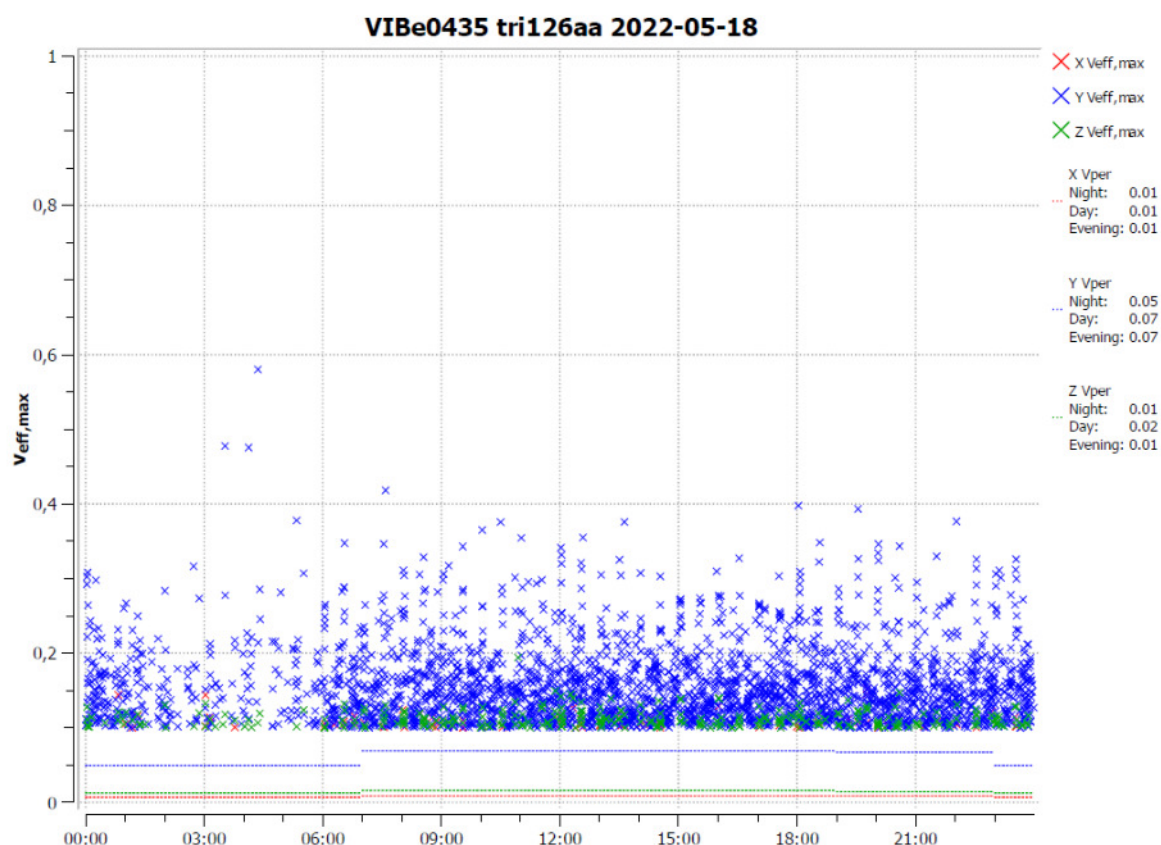
Hieruit blijkt dat de hoogst gemeten $V_{\text{eff, max}}$ over de gehele meetperiode 0,58 bedraagt in de y-richting (parallel aan het spoor) op 25 mei rond 04:07. Voor alle gemeten waarden geldt dat de y-richting de maatgevende richting is.

Bijlage II en figuur 4.5 bevatten het verloop van de $V_{\text{eff, max}}$ en de V_{per} over de gehele meetperiode, waarbij alle meetwaarden bij het bijbehorende etmaaltijdstip zijn weergegeven.

¹ Als er bijvoorbeeld een piek optreedt ter plaatse van de fundering, terwijl er op hetzelfde tijdstip geen piek optreedt ter plaatse van het maaiveld, dan kan de piek veroorzaakt zijn door werkzaamheden in de loods (gedurende de dagperiode).



Zodoende kan in een oogopslag worden gezien wat de $V_{\text{eff, max}}$ is per etmaalperiode, gebruikmakend van alle meetwaarden.



Figuur 4.5: $V_{\text{eff, max}}$ en V_{per} behorende bij de volledige meetset, geconverteerd naar waarden per etmaaltijdstip.

In de bijlagen III tot en met V is de meetset statistisch bewerkt conform paragraaf 9.6 uit de SBR B. De resultaten met inbegrip van de normwaarden zijn weergegeven in tabel 4.1.

Tabel 4.1: gemeten waarden $V_{\text{eff,max, stat}}$ en V_{per} versus normwaarden

Grootheid	meting dag/ avond	meting nacht	norm dag/ avond	norm nacht	Voldoet?
$V_{\text{eff, max}}$	0,41/ 0,38	0,55	0,8	0,4	nee
V_{per}	0,05/ 0,07	0,07	0,1	0,1	ja



Uit tabel 4.1 blijkt dat de normstelling uit SBR B niet wordt gerespecteerd gedurende de nachtperiode.

De $V_{\text{eff,max}}$ in tabel 4.1 kan ook worden uitgedrukt in dB re 1 nm/s. Dit is gedaan in tabel 4.2:

Tabel 4.2: gemeten waarden $V_{\text{eff,max,stat}}$ en V_{per} versus normwaarden in dB

Grootheid	meting dag/ avond	meting nacht	norm dag/ avond	norm nacht	Voldoet?
$V_{\text{eff,max}}$	112/ 111,6	114,8	118	112	nee

De norm in de nachtperiode wordt aldus met 3 dB overschreden in de y-richting².

² In de X- en Z-richting zijn de waarden voor $V_{\text{eff,max,stat}}$ beiden geringer dan 0,4 in de nachtperiode.



5. Trillingen ter plaatse van de fundering van de nieuwbouw

5.1. Afstandsverzwakking

De metingen op de fundering van de loods zijn verricht op een afstand van 32 meter tot de buitenste spoorlijn. De maatgevende gevel van het bouwproject wordt gesitueerd op een afstand van 43,5 meter, zie figuur 3.3.

Door materiaaldemping en geometrische verzwakking zal het trillingsniveau afnemen conform de volgende formule (bron CUR 166, 6^e herziene druk, paragraaf 5.8: trillingsanalyse en trillingsinvloed):

$$A(r) = A_0 \sqrt{\frac{r_0}{r}} e^{[-\alpha(r-r_0)]}$$

Hierin is:

- ☐ $A(r)$: amplitude op afstand r ;
- ☐ r_0 : referentieafstand in meters;
- ☐ A_0 : referentie amplitude;
- ☐ α : dempingswaarde, afhankelijk van het type bodem.

Daar er sprake is van een zandpakket, zie figuur 3.14, wordt voor de dempingswaarde $0,02 \text{ m}^{-1}$ aangehouden (bodemprofiel Amsterdam, Rotterdam, zie tabel 5.20 CUR 166).

Wanneer de afstanden en de dempingswaarde wordt ingevuld in de formule, dan neemt de amplitude af met 3,5 dB ($\frac{A_0}{A(r)} = 0,67$).

5.2. Type fundering

De metingen zijn verricht op de fundering van een bestaande loods. Naar verwachting zal de fundering van de nieuwbouw (4-laags appartementengebouw) zwaarder worden uitgevoerd (grotere stijfheid en grotere afmetingen met bijbehorende grotere massa).

Figuur 5.1 bevat de effecten van een ontvanger maatregel bij spoortrillingen (bron: Maatregelencatalogus spoortrillingen, Grontmij 2006), waarbij de constructie is verstijfd. Hierdoor kunnen reducties optreden tot 20 dB. Vanwege het feit dat de fundering van de nieuwbouw zwaarder wordt uitgevoerd dan de gemeten fundering van de loods, wordt de extra reductie ingeschat op 3 dB.



Maatregelen bij de ontvanger

Verstijven vloeren en wanden (bestaande woningen)

Maatregel bij de ontvanger



Leverancier
Aannemer

Omschrijving

Betreft het verstijven van de constructie van het trillingsbelaste object. Hierdoor vindt minder op-slingering plaats waardoor trillingsniveaus in het pand afnemen.

Eigenschappen

Reductie Tot 20 dB.
Kosten Zeer afhankelijk van het te verstijven objecten. Richtprijs: € 20.000,- tot € 80.000,- per woning (indicatief, zie paragraaf 'kosten' in de inleiding op pagina 6). In geval van nieuwbouw zijn de kosten veel beperkter.
Principe Verstijven vloer en wanden.

Toepassing

Uitvoering Woning-afhankelijk.
Onderhoud Eenmaal uitgevoerd is er geen onderhoud nodig.

Figuur 5.1: Ontvanger maatregel: verstijven vloeren en wanden. Deze effecten gelden uiteraard ook voor een fundering.

5.3. Trillingsniveau op de fundering van de nieuwbouw.

Als gevolg van de reducties in de paragrafen 5.1 (afstandsverzwakking) en 5.2 (stijvere en zwaardere fundering) zijn de te verwachten snelheidsniveaus op de fundering van de nieuwbouw circa 6,5 dB lager dan de gemeten snelheidsniveaus. Hierdoor wordt de normstelling ter plaatse van de nieuwbouw van de fundering gerespecteerd, zie tabel 5.1.

Tabel 5.1: gecorrigeerde waarden $V_{\text{eff,max, stat}}$ versus normwaarden in dB ter plaatse van de fundering van de nieuwbouw.

Grootheid	meting dag/ avond	meting nacht	norm dag/ avond	norm nacht	Voldoet?
$V_{\text{eff, max}}$	105,5/ 105,1	108,3	118	112	ja



6. Vloertrillingen

De dynamische eigenschappen van het gebouw bepalen de overdrachtsfactor van de fundering naar de vloervelden. Met name de ligging van de eigenfrequentie van de vloeren ten opzichte van de excitatiefrequentie van de spoortrillingen is hierbij van belang.

De begane grond vloer en de verdiepingsvloeren van het maatgevende gebouw zullen zodanig worden ontworpen dat de overdrachtsfactor van de fundering naar de vloervelden geringer is dan 1. Dit betekent dat er geen sprake zal zijn van opslingering of demping.

In een onderzoek van Arcadis (stationsgebied Driebergen – Zeist, Trillingenpredictie, 3 augustus 2012) is voor een aantal bestaande woningen de overdrachtsfactor bepaald van de fundering naar de vloervelden bij spoortrillingen. Deze varieert van 0,5 tot 1,4 (-6 dB/ + 3 dB), zie de tabellen 6.1 en 6.2. Door Greten Raadgevende Ingenieurs is bij een kantoorgebouw voorzien van betonvloeren een gemiddelde overdrachtsfactor bepaald van 1 dB tussen de fundering en de vloervelden.

Hieruit volgt dat de opslingering bij bestaande gebouwen bij spoortrillingen varieert van 1 tot 3 dB. Indien de vloervelden zodanig worden ontworpen dat de eigenfrequentie voldoende afwijkt van de excitatiefrequentie kan met grote zekerheid worden voorspeld dat de vergrotingsfactor kleiner of gelijk is aan 1.

Tabel 6.1: Inventarisatie bebouwing onderzoek Arcadis (stationsgebied Driebergen – Zeist)

Voor de bovengenoemde panden is een samenvatting van de inventarisatie gegeven in tabel 6.

Objectnr	Adres	Gebruiks- functie	Categorie	Fundatie	Bouwjaar ca.	vloer
1	Tiendweg 1F	Wonen	2 metselwerk	staalfundering	1973	hout
2	Kwekerijweg 6 en 8	Industrie	1 betonbouw	staalfundering	1988	beton
3	Kwekerijweg 2a, 2b, 2c	Kantoor	1 betonbouw	staalfundering	1998	beton
4	Prinzenhofpark 1-27	Kantoor	1 betonbouw	staal- en paalfundering	1988	beton
5	Odijkerweg 30	Wonen	2 metselwerk	staalfundering	1933	hout
6	Odijkerweg 82	¹⁾	1 betonbouw	staalfundering	1920 ²⁾	beton
7	Stationsweg 3	Kantoor	1 betonbouw	staalfundering	2003	beton
8	Stationsweg 11, 13, 15	Kantoor	1 betonbouw	paalfundering	1988	beton

Tabel 6: Samenvatting inventarisatie bebouwing (alleen mogelijk trillingsgevoelige bebouwing)



Tabel 6.2: overdrachtsfactoren bodem – fundering (C_{xf}) en fundering – vloerveld (C_{fc})

Locatie	C_{xf} [-]	C_{fc} [-]	$C_{xf} * C_{fc}$ [-]
Tiendweg 1F	0,8	1,2	0,9
Kwekerijweg 6 en 8	1,0	0,5	0,5
Kwekerijweg 2a, 2b, 2c	0,8	0,9	0,7
Odijkerweg 82	0,4	1,4	0,6
Princenhof 1-27	0,4	1,4	0,6
Stationsweg 1, 13, 15	0,9	0,9	0,8

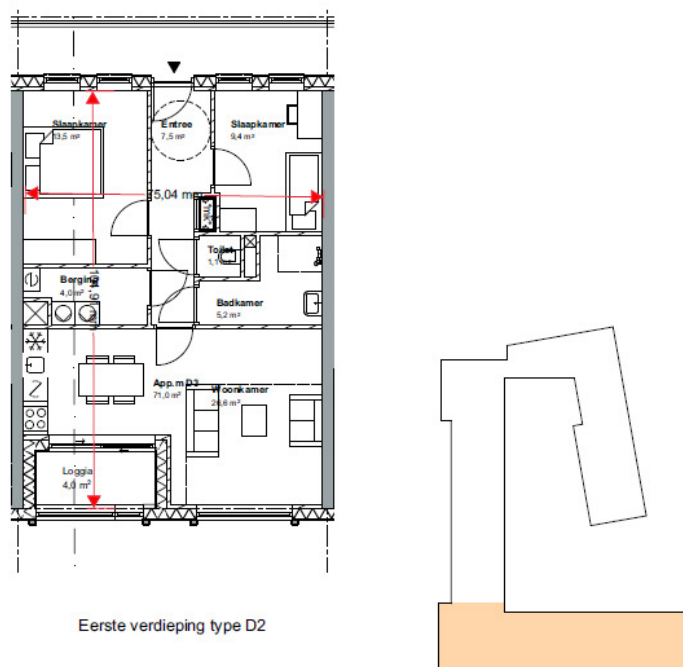
Tabel 11: Overdrachtsfactoren van bodem naar bebouwing

Bijlage VI bevat FFT spectra behorende bij 2 maatgevende treinpassages in de nachtperiode:

- ☐ 20 mei, 03:31:46;
- ☐ 24 mei, 04:21:47

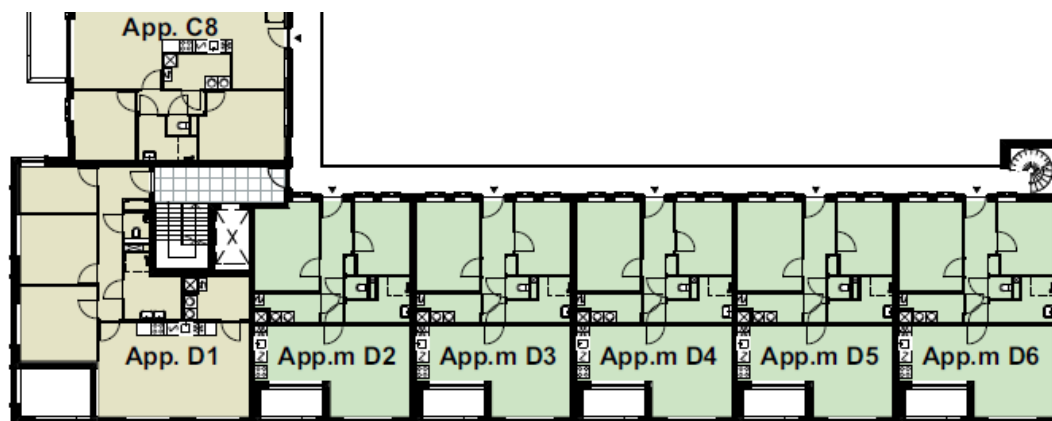
Hieruit blijkt dat de frequentie van de trilling op de fundering in y-richting geluid varieert van 31,5 tot 33,5 Hz.

In bijlage VII is de eigenfrequentie van 2 vloervelden op de 1^e verdieping bepaald conform de publicatie “trillingen van vloeren door lopen, SBR 2005. De beschouwde vloervelden zijn weergegeven in de figuren 5.2 en 5.3. Het betreft appartementen type D2 en D6 die opgenomen zijn in een blok op korte afstand van het spoor. De vloer van appartement type D2 is 2-zijdig ingeklemd en 2-zijdig scharnierend. De vloer van het hoekappartement D6 is eenzijdig ingeklemd en 3-zijdig scharnierend.



Eerste verdieping type D2

Figuur 5.2: Appartement type D2, 1^e verdieping



Figuur 5.3: Hoek appartement D6 en tussenappartement D2



De eigenfrequentie van de vloervelden bedraagt:

- ☐ 18 Hz voor type D2;
- ☐ 13 Hz voor type D6.

In bijlage VII is nu de opslinging berekend uitgaande van de berekende eigenfrequenties van de vloervelden en de excitatiefrequentie van 31 Hz tijdens maatgevende passages van goederentreinen.

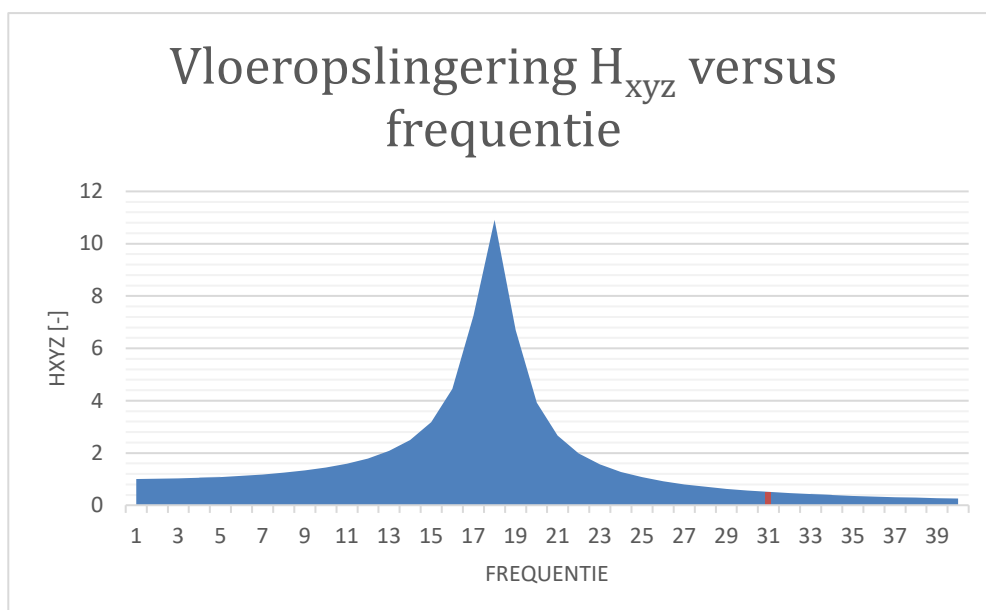
Hierbij is de volgende formule gehanteerd, behorende bij één massa-demper-veersysteem:

$$H_{xyz} = \frac{\sqrt{1 + 4\zeta^2 \left(\frac{f}{f_e}\right)^2}}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{f}{f_e}\right)^2\right)^2 + 4\zeta^2 \left(\frac{f}{f_e}\right)^2}}$$

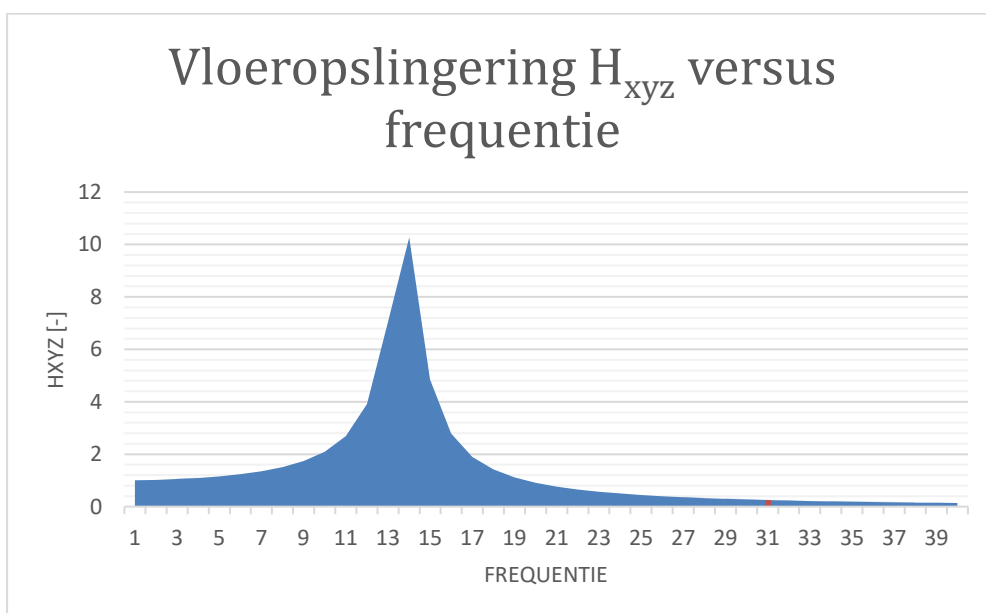
Hierin is:

- H_{xyz} : opslinging [-]
 ζ : demping (0,046 = kengetal)
 f : excitatie frequentie spoortrilling
 f_e : eigenfrequentie vloerveld.

De figuren 5.4 (appartement D2) en 5.5 (appartement D6) illustreren de berekende waarden voor H_{xyz} , zijnde 0,5 en 0,25.



Figuur 5.4: vloeropslingering bij appartement D2. H_{xyz} bij 31 Hz bedraagt 0,5



Figuur 5.5: vloeropslingering bij appartement D6. H_{xyz} bij 31 Hz bedraagt 0,25



7. Conclusies en aanbevelingen

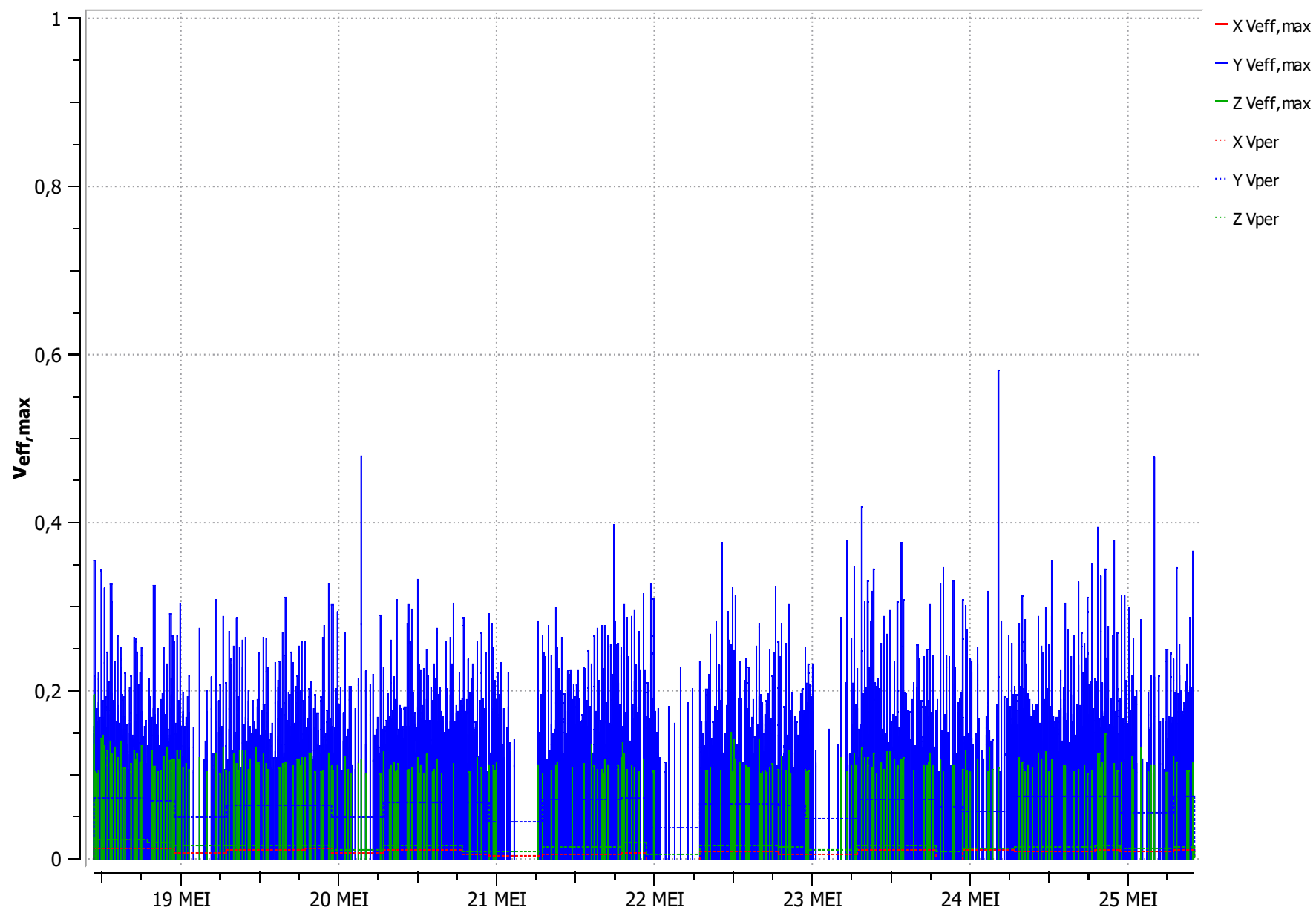
Uit dit onderzoek blijkt dat de snelheidsniveaus op de fundering van de nieuwbouw zodanig zijn dat de streefwaarden worden gerespecteerd, zie tabel 5.1.

In hoofdstuk 6 zijn de trillingen van de vloervelden bepaald op basis van een één massa veersysteem (zie de publicatie Rekenmodel voor de bepaling van de trillingssterkte, 1995). Hieruit blijkt dat de excitatie frequentie van maatgevende spoortrillingen in de nachtperiode, zijnde 31 Hz, aanzienlijk afwijkt van de eigenfrequentie van de vloervelden. Hierdoor is er sprake van demping variërend van 50 tot 75 %. De waarden in tabel 5.1 worden aldus gereduceerd met 50 tot 75 %. Hierdoor worden de streefwaarden te allen tijde gerespecteerd.



Bijlage I

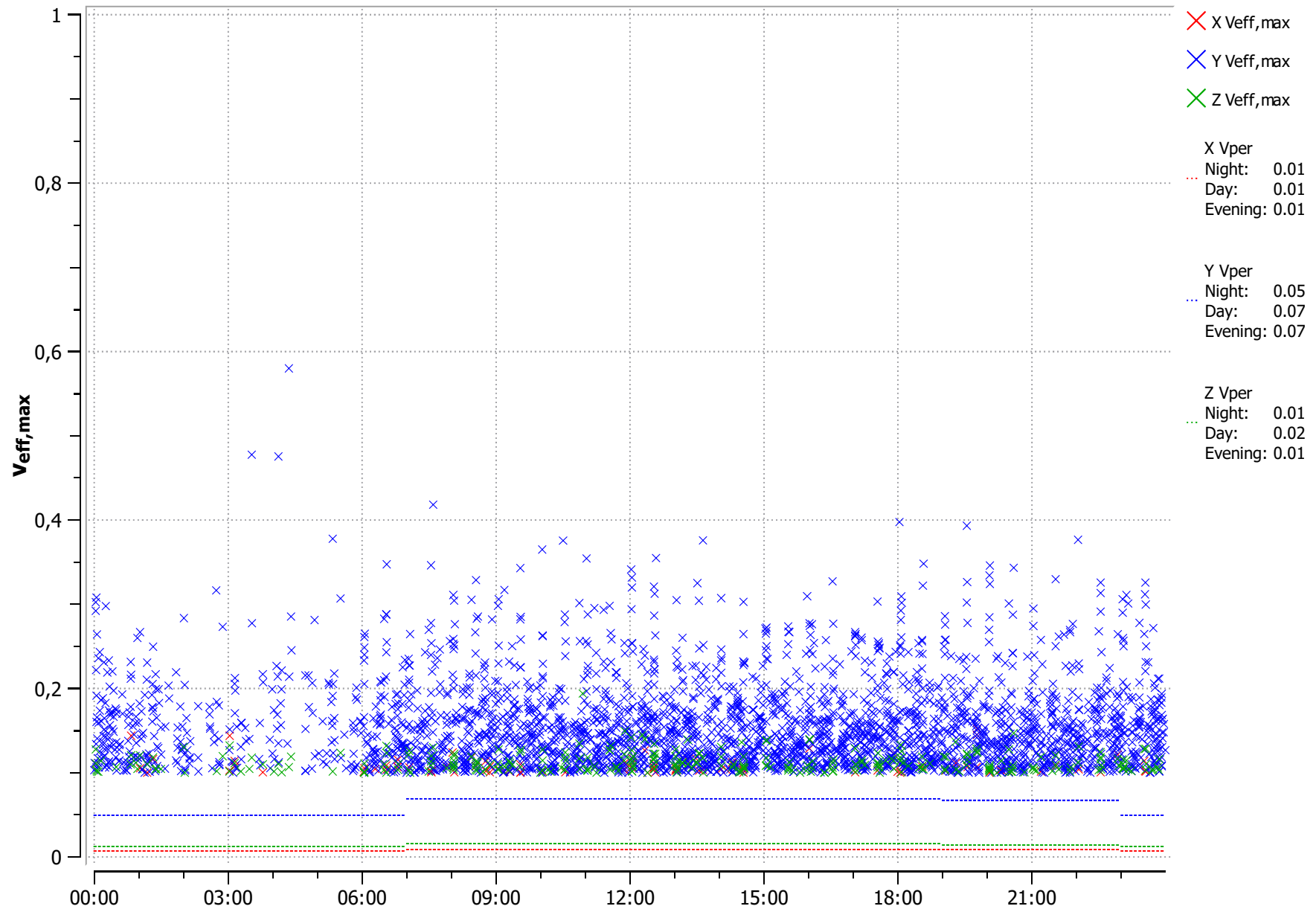
VIBe0435 tri126aa 2022-05-18





Bijlage II

VIBe0435 tri126aa 2022-05-18





Bijlage III

top 15 (de geel gekleurde waarden doen mee in de analyse)

Veff max Y [mm/s]	veff,max - μ	$(\text{veff,max} - \mu)^2$	$(\text{veff,max} - \mu)^2/(n-1)$
0,42	0,06	0,0036	0,000257143
0,4	0,04	0,0016	0,000114286
0,38	0,02	0,0004	2,85714E-05
0,38	0,02	0,0004	2,85714E-05
0,36	0	0	0
0,35	-0,01	0,0001	7,14286E-06
0,35	-0,01	0,0001	7,14286E-06
0,35	-0,01	0,0001	7,14286E-06
0,35	-0,01	0,0001	7,14286E-06
0,34	-0,02	0,0004	2,85714E-05
0,34	-0,02	0,0004	2,85714E-05
0,33	-0,03	0,0009	6,42857E-05
0,33	-0,03	0,0009	6,42857E-05
0,33	-0,03	0,0009	6,42857E-05
0,33	-0,03	0,0009	6,42857E-05

50 % topwaarde	0,21	Σ	0,000771429
μ	0,36	σ	0,027774603
n	15,00		
β	1,76		

$V_{\text{eff, max, stat}}$	0,41
-----------------------------	------



Bijlage IV

top 15 (de geel gekleurde waarden doen mee in de analyse)

Veff max Y [mm/s]	veff,max - μ	$(\text{veff,max} - \mu)^2$	$(\text{veff,max} - \mu)^2/(n-1)$
0,39	0,06466667	0,004181778	0,000298698
0,38	0,05466667	0,002988445	0,00021346
0,35	0,02466667	0,000608445	4,34603E-05
0,34	0,01466667	0,000215111	1,53651E-05
0,33	0,00466667	2,17778E-05	1,55556E-06
0,33	0,00466667	2,17778E-05	1,55556E-06
0,33	0,00466667	2,17778E-05	1,55556E-06
0,33	0,00466667	2,17778E-05	1,55556E-06
0,32	-0,00533333	2,84444E-05	2,03174E-06
0,31	-0,01533333	0,000235111	1,67936E-05
0,3	-0,02533333	0,000641778	4,58413E-05
0,3	-0,02533333	0,000641778	4,58413E-05
0,29	-0,03533333	0,001248444	8,91746E-05
0,29	-0,03533333	0,001248444	8,91746E-05
0,29	-0,03533333	0,001248444	8,91746E-05

50 % topwaarde	0,195	Σ	0,000955238
μ	0,325333333	σ	0,030906926
n	15		
β	1,76		
		$V_{\text{eff, max, stat}}$	0,38



Bijlage V

top 15 (de geel gekleurde waarden doen mee in de analyse)

Veff max Y [mm/s]	veff,max - μ	$(\text{veff,max} - \mu)^2$	$(\text{veff,max} - \mu)^2/(n-1)$
0,58	0,222	0,049284	0,003520286
0,48	0,122	0,014884	0,001063143
0,48	0,122	0,014884	0,001063143
0,38	0,022	0,000484	3,45714E-05
0,35	-0,008	6,4E-05	4,57143E-06
0,33	-0,028	0,000784	5,6E-05
0,32	-0,038	0,001444	0,000103143
0,31	-0,048	0,002304	0,000164571
0,31	-0,048	0,002304	0,000164571
0,31	-0,048	0,002304	0,000164571
0,31	-0,048	0,002304	0,000164571
0,31	-0,048	0,002304	0,000164571
0,3	-0,058	0,003364	0,000240286
0,3	-0,058	0,003364	0,000240286
0,3	-0,058	0,003364	0,000240286

50 % topwaarde

0,29

Σ

0,00738857

μ

0,358

σ

0,0859568

n

15

β

1,76

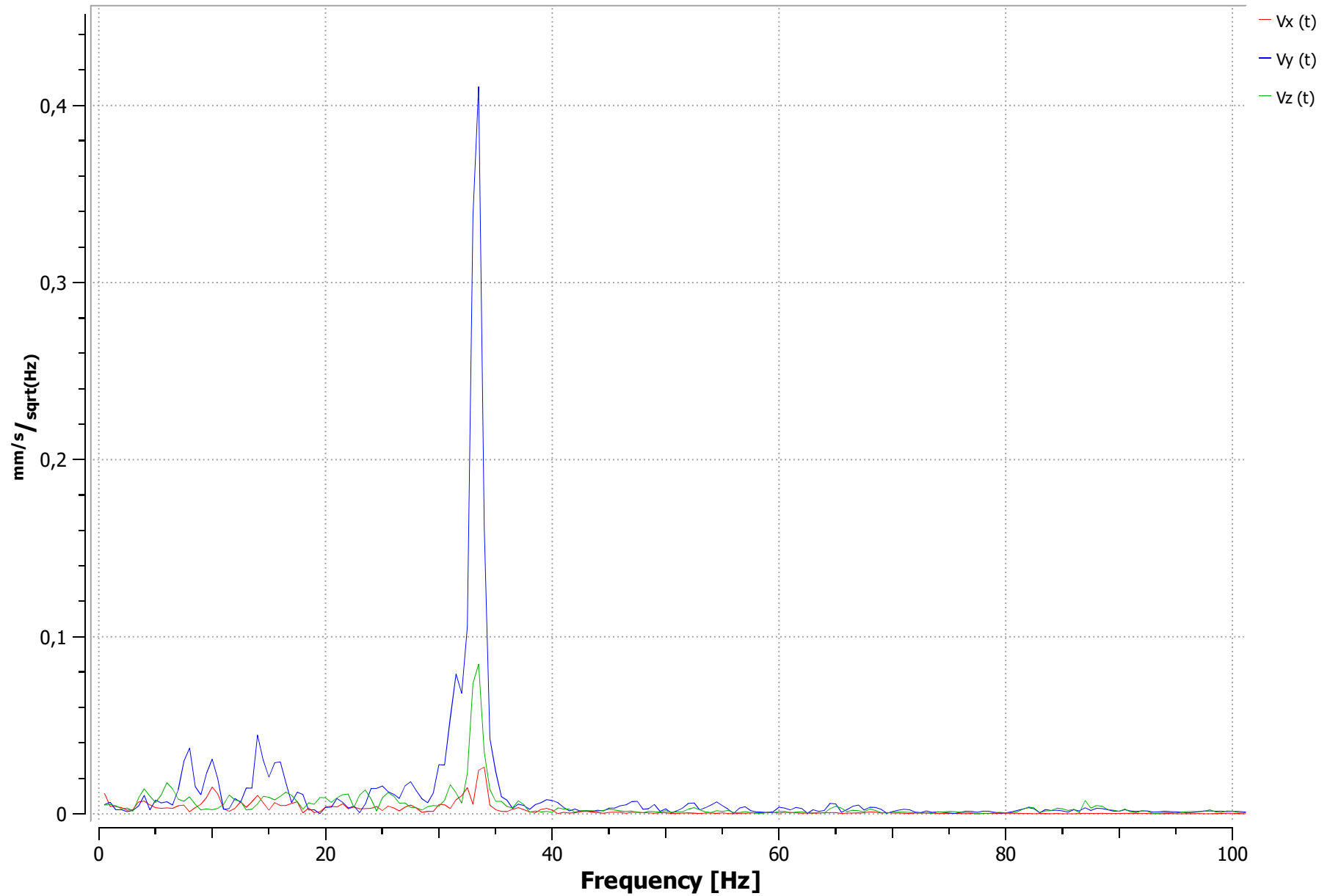
$V_{\text{eff, max, stat}}$

0,55

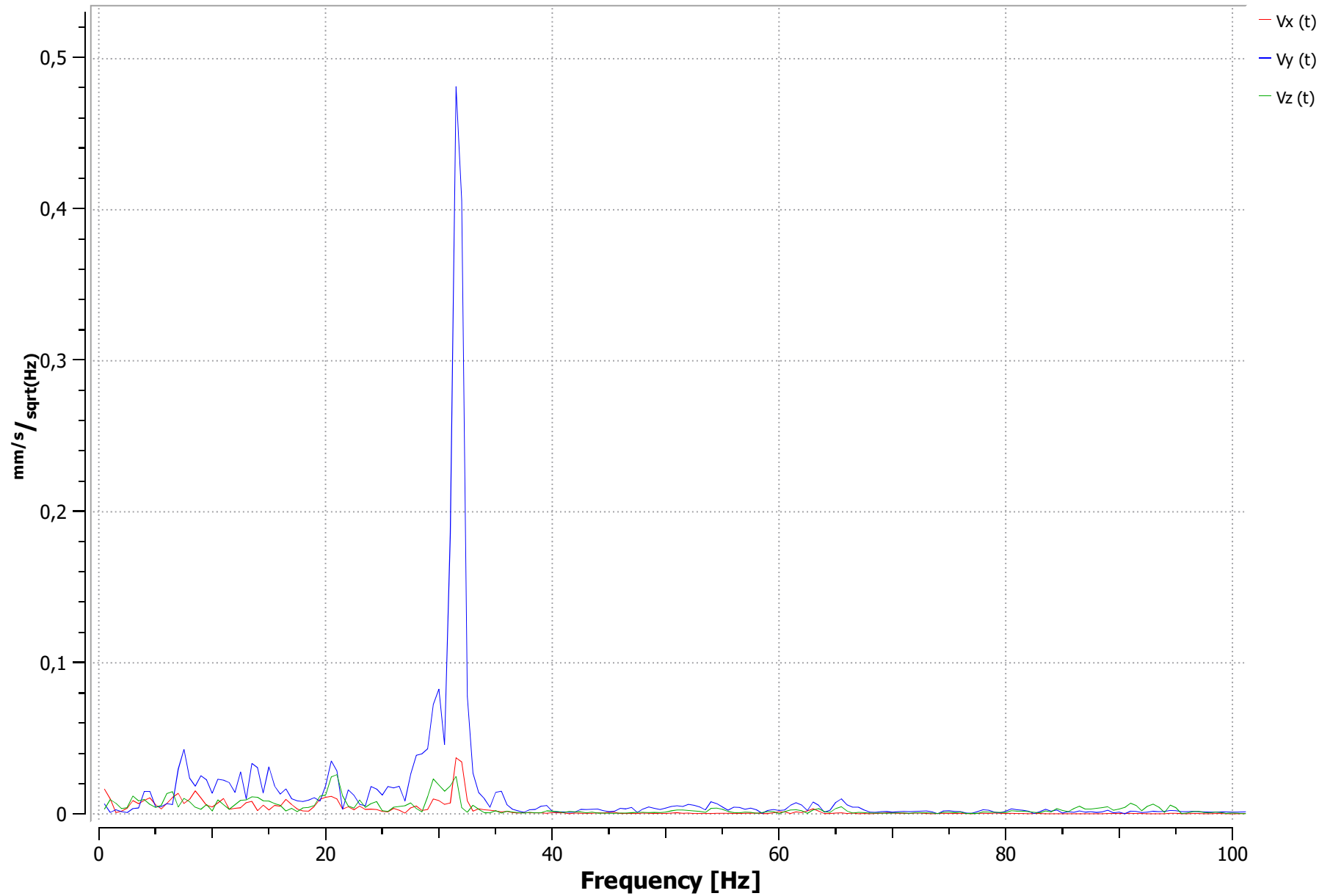


Bijlage VI

Spectrum: 2022-05-20 03:31:57



Spectrum: 2022-05-24 04:21:45





Bijlage VII

Berekening van de eigenfrequentie van een isotrope vloer

(Conform Trillingen van vloeren door lopen, SBR 2005)



Projectgegevens

Project	Spoortrillingen Bosscheweg 242 te Tilburg/ bepaling opslingering vloer tri126ab
Projectnummer	Antea groep
Opdrachtgever	Juriaan Heijmans
Contactpersoon	Postbus 40
Postadres	4900 AA Oosterhout
Plaats	verdiepingsvloer nieuwbouw, type D2
Vloer	breedplaatvloer

Gehanteerde formule

$$f_e = \frac{\lambda^2}{2\pi l^2} \sqrt{\frac{EI}{p(1 - \nu^2)}}$$



Legenda

λ^2	:	volgt uit tabel B.1 (afhankelijk van lengte/ breedte verhouding en wijze van inklemming)
l	:	lengte van de vloer [m] (lengte in de richting van de overspanning)
p	:	massa per m^2 [kg/m ²]
E	:	elasticiteitsmodulus [N/m ²]
I	:	traagheidsmoment ($1/12 \cdot b \cdot h^3$) [m ⁴]
ν	:	poissonfactor = 0,3 [-]

Invoergegevens

λ^2	25		$l/b = 0,71 \rightarrow \lambda^2 = 25$ bij aan 2 langsijden ingeklemd
E	2,50E+10	[N/m ²]	vanwege doorlopende vloer
b (breedte vloer)	1	[m]	
h (hoogte vloer)	0,28	[m]	
I	1,83E-03	[m ⁴]	
EI	4,57E+07	N·m ⁴	
p	805	[kg/m ²]	
l	7,5	[m]	
ν	0,3	[-]	

Resultaat

Eigenfrequentie (berekend)	17,7	Hz
Eigenfrequentie (gemeten)	-	Hz

Berekening van de eigenfrequentie van een isotrope vloer

(Conform Trillingen van vloeren door lopen, SBR 2005)



Projectgegevens

Project	Spoortrillingen Bosscheweg 242 te Tilburg/ bepaling opslingering vloer tri126ab
Projectnummer	Antea groep
Opdrachtgever	Juriaan Heijmans
Contactpersoon	Postbus 40
Postadres	4900 AA Oosterhout
Plaats	verdiepingsvloer nieuwbouw, type D2
Vloer	breedplaatvloer

Gehanteerde formule

$$f_e = \frac{\lambda^2}{2\pi l^2} \sqrt{\frac{EI}{p(1 - \nu^2)}}$$



Legenda

λ^2	:	volgt uit tabel B.1 (afhankelijk van lengte/ breedte verhouding en wijze van inklemming)
l	:	lengte van de vloer [m] (lengte in de richting van de overspanning)
p	:	massa per m^2 [kg/m ²]
E	:	elasticiteitsmodulus [N/m ²]
I	:	traagheidsmoment ($1/12 \cdot b \cdot h^3$) [m ⁴]
ν	:	poissonfactor = 0,3 [-]

Invoergegevens

λ^2	18,86		$l/b = 0,71 \rightarrow \lambda^2 = 25$ bij aan 2 langsijden ingeklemd
E	2,50E+10	[N/m ²]	vanwege doorlopende vloer
b (breedte vloer)	1	[m]	
h (hoogte vloer)	0,28	[m]	
I	1,83E-03	[m ⁴]	
EI	4,57E+07	N·m ⁴	
p	805	[kg/m ²]	
l	7,5	[m]	
ν	0,3	[-]	

Resultaat

Eigenfrequentie (berekend)	13,3	Hz
Eigenfrequentie (gemeten)	-	Hz



Bijlage VIII

Berekening van de opslinging van een isotrope vloer



Projectgegevens

Project	Spoortrillingen Bosscheweg 242 te Tilburg/ bepaling opslinging vloer
Projectnummer	tri126ab
Opdrachtgever	Antea groep
Contactpersoon	Juriaan Heijmans
Postadres	Postbus 40
Plaats	4900 AA Oosterhout
Vloer	verdiepingsvloer nieuwbouw
Vloeropbouw	breedplaatvloer

Gehanteerde formule

$$H_{xyz} = \frac{\sqrt{1 + 4\zeta^2 \left(\frac{f}{f_e}\right)^2}}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{f}{f_e}\right)^2\right)^2 + 4\zeta^2 \left(\frac{f}{f_e}\right)^2}}$$



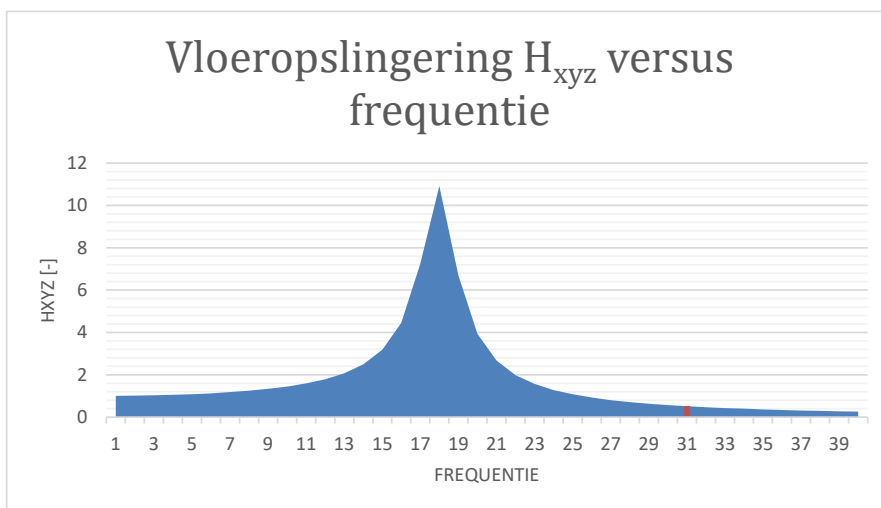
Kortste verdeling type D2

Legenda

f	:	excitatiefrequentie vloerconstructie
f_e	:	eigenfrequentie vloer
ζ	:	vloerdemping
H_{xyz}	:	overdrachtsfactor in x-, y- en z-richting

Invoergegevens

f_e	18	Hz
ζ	0,046	[-]
H_{xyz}	0,00	



Berekening van de opslinging van een isotrope vloer



Projectgegevens

Project	Spoortrillingen Bosscheweg 242 te Tilburg/ bepaling opslinging vloer
Projectnummer	tri126ab
Opdrachtgever	Antea groep
Contactpersoon	Juriaan Heijmans
Postadres	Postbus 40
Plaats	4900 AA Oosterhout
Vloer	verdiepingsvloer nieuwbouw
Vloeropbouw	breedplaatvloer

Gehanteerde formule

$$H_{xyz} = \frac{\sqrt{1 + 4\zeta^2 \left(\frac{f}{f_e}\right)^2}}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{f}{f_e}\right)^2\right)^2 + 4\zeta^2 \left(\frac{f}{f_e}\right)^2}}$$



Kortste verdieping type D2

Legenda

f	:	excitatiefrequentie vloerconstructie
f_e	:	eigenfrequentie vloer
ζ	:	vloerdemping
H_{xyz}	:	overdrachtsfactor in x-, y- en z-richting

Invoergegevens

f_e	13,8	Hz
ζ	0,046	[-]
H_{xyz}	0,00	

Vloeropslingering H_{xyz} versus frequentie

