



IBAN NL15 RABO 0307 33 99 20

KvK Gouda 29037057

Lid INCE • NAG • ABAV • Ti-Kviv

www.av-consulting.nl

NL - 8033.00.591.B.01

Rapport 2006007194-20222071

2 mei 2022

TRILLINGSONDERZOEK

Wesepersstraat 7 Deventer spoorzone
Bepaling kans op hinder t.g.v. railverkeer
in nieuwbouw woningen

AKOESTIEK

TRILLINGEN

MILIEU- VERGUNNINGEN

LUCHTONDERZOEK

Opdrachtgever
EFY Group B.V.
Postbus 5211
2000CE Haarlem

Adviseur

Ad (Arie) Vreeswijk, M.Sc. INCE

BEZWAAR EN BEROEP

Namens dezen
T.a.v. Ing. Bill van Rhijn

Inhoudsopgave

1. INLEIDING.....	1
1.1. Algemeen	1
1.2. Gegevens	1
2. SBR-RICHTLIJN B: HINDER VOOR PERSONEN IN GEBOUWEN	2
3. METINGEN EN BEREKENING	4
3.1. Situatie en uitgangspunten	4
3.2. Trillingsmetingen.....	6
3.3. Overdrachtsprognoses van de trillingen door de bodem.....	7
3.4 Overdrachtsprognoses betreffende gebouwen.....	8
4. RESULTATEN TRILLINGSHINDER EN PROGNOSE	10
4.1. Meetresultaten.....	10
4.2. Berekening resultaten; overdracht in de bodem met Barkan formule	12
4.3. Prognose resultaten; overdracht van bodem naar vloer	12
4.4. Toetsing trillingsimmissie; prognose	13
4.5. Bespreking van de resultaten, hinder	13
5. MOGELIJKE MAATREGELEN.....	14
6. CONCLUSIE.....	16

BIJLAGEN:

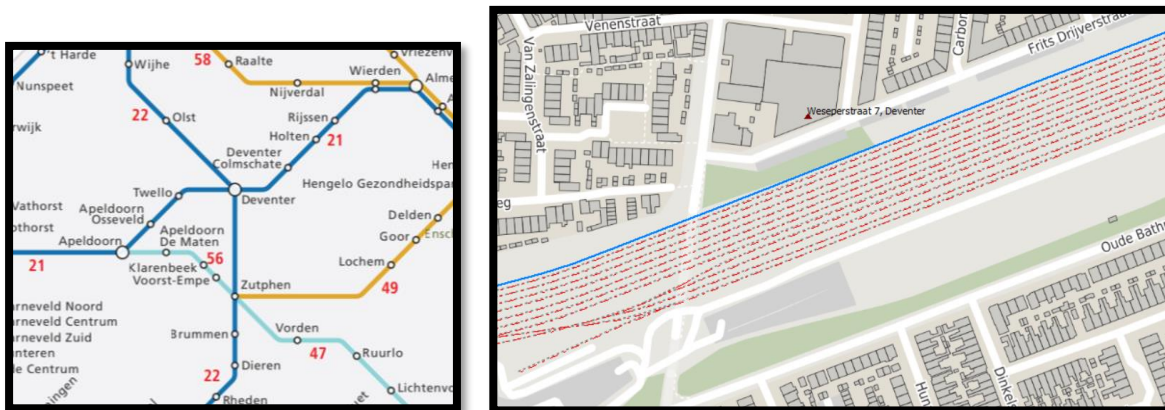
1. MEETRESULTATEN
2. BEREKENINGSBLADEN
3. TERMEN EN DEFINITIE VAN SBR-B
4. TEKENINGEN

1. INLEIDING

1.1. Algemeen

In opdracht van de EFY Group is door AV Consulting B.V. Raadgevende Ingenieurs een trillingsonderzoek uitgevoerd voor een nieuw plan binnen de spoorzone aan de Weseperstraat 7 te Deventer. Het stedenbouwkundig plan voorziet o.a. in trillings-gevoelige ruimten door de bouw van woningen op verschillende afstanden van het spoor.

Doel van het onderzoek is het prognosticeren van de trillingsniveaus in de panden ten gevolge van het treinverkeer op de spoorlijn Apeldoorn - Deventer - Almelo.



Figuur 1: Ligging van het spoor en de bouwlocatie

ProRail adviseert indicatief (zogenoemde *quick scan*) onderzoek te doen naar de te verwachten trillingsniveaus. Aanleiding voor het onderzoek is de zorgplicht van de opdrachtgever om mogelijk toekomstige hinder in de nieuwe panden, ten gevolge van de spoortrillingen te voorkomen of beperken.

Ten behoeve van het onderzoek zijn er trillingsmetingen verricht conform de voorschriften uit de SBR-richtlijn B: "Hinder voor personen in gebouwen" gedurende ca. één representatieve week.

Voor de overdracht van de trillingen door de bodem is gebruikgemaakt van de empirische formule van Barkan en van metingen in situ. Voor de overdracht van de trillingen door de bodem naar het gebouw en van gebouw naar de vloer zijn frequentie afhankelijke overdrachtsfuncties gebruikt.

1.2. Gegevens

Ten behoeve van het onderzoek is gebruik gemaakt van de navolgende gegevens:

- 1) De SBR-richtlijn B "Hinder voor personen in gebouwen" van de Stichting Bouwresearch.
- 2) Document "Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen" d.d. mei 2019 van de van Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
- 3) Document "Maatregelcatalogus spoortrillingen" d.d. 8 januari 2016 van ProRail.
- 4) Publicatie nr. 9/1995 "Rekenmodel voor de bepaling van trillingssterkte" van de Ministerie van Volkshuisvesting.
- 5) Plattegrondtekening van het plan in de spoorzone te Weseperstraat 7 te Deventer door opgave van de opdrachtgever.
- 6) Boormonsterprofiel beschikbaar op DINOloket.

2. SBR-RICHTLIJN B: HINDER VOOR PERSONEN IN GEBOUWEN

De meet- en beoordelingsrichtlijn B, "Hinder voor personen in gebouwen" bevat richtlijnen voor het meten en beoordelen van hinder voor personen. De richtlijn maakt onderscheid in de functie van het gebouw, aard van de trillingsbron en in bestaande, gewijzigde en nieuwe situaties.

In de Richtlijn vindt de beoordeling plaats door middel van A_1 , A_2 en A_3 :

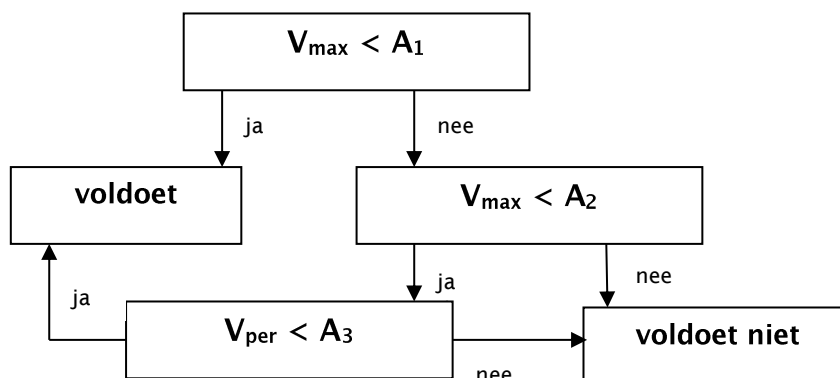
1. A_1 is de onderste streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max} ;
2. A_2 is de bovenste streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max} ;
3. A_3 is de streefwaarde voor de trillingssterkte V_{per} .

Voor de hoogte van de streefwaarden geldt in algemene zin dat $A_3 < A_1 \leq A_2$.

Er wordt voldaan aan de streefwaarden indien:

4. De waarde van de maximale trillingssterkte in een ruimte (V_{max}) kleiner is dan A_1 of
5. De waarde van de maximale trillingssterkte van een ruimte (V_{max}) kleiner is dan A_2 waarbij de trillingssterkte over de beoordelingsperiode voor de ruimte (V_{per}) kleiner is dan A_3 .

De procedure voor de beoordeling van V_{max} en V_{per} is in het onderstaande stroomschema aangegeven.



In de richtlijn zijn de streefwaarden onder andere gebaseerd op de functie van het gebouw waar de trillingen beoordeeld moeten worden en de aard van de trillingsbron. In de onderhavige situatie worden de optredende trillingen beschouwd als herhaald voorkomende trillingen gedurende lange tijd. De situatie kan worden beschouwd als een nieuwe situatie aangezien het een nieuwbouwplan betreft. In tabel 1 zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel 1: Overzicht streefwaarden hinder.

Gebouwfunctie (SBR - B richtlijn)	Dag- en avond			Nacht		
	A ₁ [-]	A ₂ [-]	A ₃ [-]	A ₁ [-]	A ₂ [-]	A ₃ [-]
Wonen (nieuwe situatie)	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05

Toetsing zal plaatsvinden voor zowel de dag-, avond- en nachtperiode aangezien het railverkeer plaatsvindt in deze perioden.

Voor de afweging van de toelaatbaarheid van de trillingssterkte door railverkeer gedurende langere tijd kan bij overschrijding van de streefwaarden aanvullend gebruik worden gemaakt van de navolgende kwalificatie van de hinder zoals aangegeven in tabel 2.

Tabel 2: Hinderkwalificatie voor railverkeer volgens SBR-richtlijn B.

V_{max} [-]	Hinderkwalificatie
< 0,1	Geen hinder
0,1 - 0,2	Weinig hinder (bestaande situatie)
0,2 - 0,8	Matige hinder
0,8 - 3,2	Hinder
> 3,2	Ernstige hinder

Het accepteren van (matige) trillingshinder door overschrijding van de streefwaarden kan onder meer afhankelijk zijn van de mate waarin de trillingssterkte voorkomt, de aanwezigheid van andere trillingsbronnen (de achtergrondtrillingen), de mogelijkheid tot het treffen van trillingsreducerende maatregelen en de historie. In geval van mogelijke hinder dienen de betrokken partijen te overleggen. Ernstige hinder is niet toelaatbaar.

In bijlage 3 zijn termen en definities gegeven relaterend aan de SBR-richtlijn B.

3. METINGEN EN BEREKENING

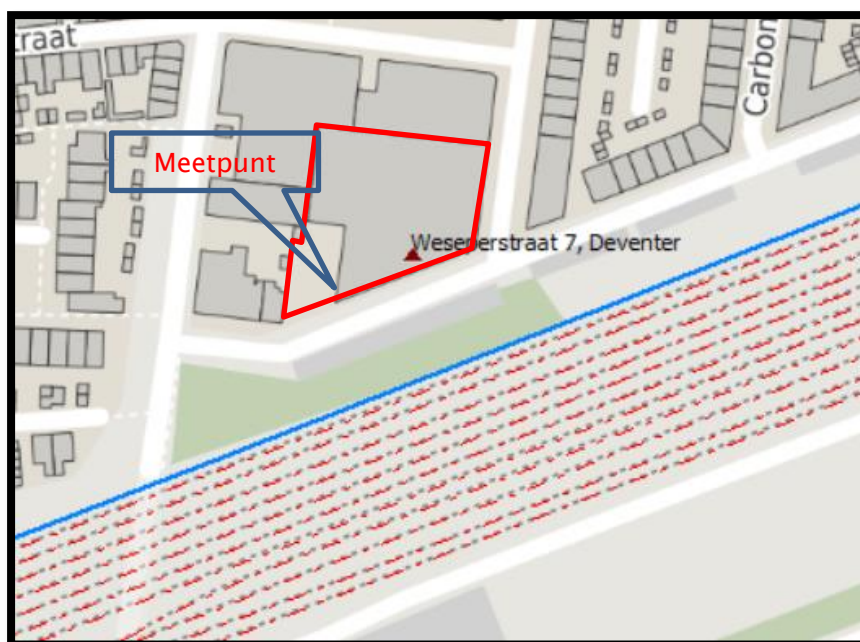
3.1. Situatie en uitgangspunten

De opdrachtgever wil mogelijke trillingshinder ten gevolge van treinverkeer voor bewoners van de nieuwe woningen voorkomen.

Uit de openbare gegevens uit o.a. www.ns.nl en het Akoestisch spoorboekje blijkt dat op dit traject het spoorverkeer bestaat uit reizigerstreinen - namelijk sprinters en intercity's.

Baan									
Uurintensiteiten per periode									
	Treintype	Profiel	Q(D)	V(D)	Q(A)	V(A)	Q(N)	V(N)	
1	INT-R	Stoppend	--	40	0,010	40	--	40	
2	INT-R	Doorgaand	0,290	40	0,290	40	--	40	
3	IRM-4	Doorgaand	--	40	0,040	40	0,080	40	
4	IRM-4	Stoppend	0,720	40	0,600	40	0,120	40	
5	IRM-4	Doorgaand	--	40	0,040	40	--	40	
6	IRM-4	Stoppend	0,720	40	0,640	40	0,160	40	
7	VIRM-6	Stoppend	0,360	40	0,360	40	0,120	40	
8	VIRM-6	Stoppend	0,360	40	0,360	40	0,120	40	

Figuur 2: Gegevens van 1 baan uit het Akoestisch spoorboekje (Voor het totaal met 7 te vermenigvuldigen).



Figuur 3: Bouwlocatie



Figuur 4: Plattegrondtekening van het plangebied.

Het plangebied betreft woningen. Het aantal woningen, de positie, het funderingssysteem en de vloertypen van de woningen zijn in de onderwerpelijke situatie nog niet bekend. In de berekeningen wordt uitgegaan van "lichte gebouwen" en van vloervelden met grote overspanning – als worst-case scenario.

3.2. Trillingsmetingen

Onbemande en bemande trillingsmetingen zijn uitgevoerd op het terrein ten noorden van het spoor met één tri-axiale trillingsopnemers welke is geïnstalleerd op het gebouw aan de Weseperstraat 7 te Deventer. Daarnaast zijn er bemande metingen verricht voor de gevel. Dit is een beproefde methode om laagfrequente trillingen te kunnen meten.

Tijdens de metingen was het terrein in de nachtperiode niet in gebruik. Tussen de spoorlijn en het plangebied ligt een weg met klinkers welke voor stoortrillingen zorgt in de dagperiode door auto die over deze weg rijden. Tevens waren er in de dag- de avondperiode stoortrillingen met een frequentie van ca. 48 Hz door een onbekende trillingsbron van waarschijnlijk de Karwei aldaar. Derhalve zijn alleen de meetgegevens geanalyseerd uit de nachtperiode (23:00 – 07:00 uur). Deze gegevens komen overeen met bemande metingen die verricht zijn overdag waarbij visueel vastgesteld kon worden dat het om treinpassages ging.

De meetpositie ligt op een denkbeeldige lijn loodrecht uit het spoor op ca. 32 meter uit de buitenste spoorbaan.

Op basis van de meetresultaten op de meetpositie 1 zijn de trillingsniveaus met hulp van de empirische formule van Barkan op verschillende afstanden vanaf het spoor berekend. De resultaten van het onderzoek dienen een indicatief antwoord te geven op de vraag of er kans op hinder is in de toekomstige gebouwen op verschillende afstanden van het spoor. Hiertoe is een frequentie afhankelijke overdrachtsfunctie gebruikt voor de overdracht van de trillingen in de bodem naar de fundering en van de fundering naar de vloer.

In figuur 5 is meetposities weergegeven.



Figuur 5: Foto van meetpositie 1 in het terrein, ten noorden van het spoor.

In de onderhavige situatie is ervoor gekozen om gedurende ca. één representatieve week de trillingen te meten waardoor een goed beeld van de lokale situatie is verkregen. In de meetpunten wordt in één verticale en in twee onderling loodrechte horizontale richtingen gemeten.

De onbemande metingen zijn uitgevoerd van maandag 25 april 2022 in de ochtend t/m de middag zaterdag 30 april 2022. Op de meetlocatie zijn in drie richtingen (één verticaal en twee horizontaal) de optredende trillingen geregistreerd. De z-richting is verticaal, de y-richting loopt parallel aan de spoorbanen en x-richting is loodrecht op het spoor. Bij de metingen is gebruikgemaakt van de in tabel 3 vermelde meetapparatuur. Deze meetapparatuur voldoet aan de specificaties uit de SBR-B richtlijn.

Tabel 3: Gebruikte meetapparatuur.

Omschrijving	Merk	Type
Trillingsanalyser	Profound	Vibra SBR +
3-D geophoon	Profound	Vibra SBR +
Wireless 8g Vibration Meter	AV-Consulting/Convergence Instruments	SBR/DIN-4150

3.3. Overdrachtsprognoses van de trillingen door de bodem

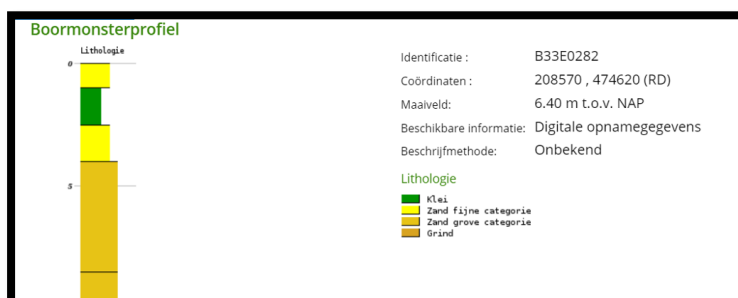
Op basis van de meetresultaten is de theoretische overdracht op basis van de empirische formule van Barkan bepaald en dus zijn de trillingsniveaus in de bodem op verschillende afstanden van het spoor berekend. Voor de overdracht van trillingen door de bodem wordt gebruikgemaakt van de formule van Barkan:

$$V(r) = V(r_0) \left[\frac{r_0}{r} \right]^n e^{-\alpha(r-r_0)}$$

waarin:

$V(r)$	amplitude trillingssnelheid op een afstand r van de bron
$V(r_0)$	amplitude trillingssnelheid op referentie afstand r_0 van de bron
r	afstand van bron tot ontvanger [m]
r_0	referentie afstand tot de bron [m]
n	parameter voor beschrijving geometrische uitbreiding [-]
α	parameter voor beschrijving van de materiaaldemping [1/m]

De geometrische demping - n in de formule - is afhankelijk van het type golf en de richting vanuit de bron waarin de trillingsuitbreiding plaatsvindt. Voor de R (Rayleigh)-golven of oppervlaktegolven ($n = 0,5$) is de geometrische demping kleiner dan voor de P- (pressure) golven of compressiegolven en de S-(shear) golven of schuifgolven. Dit geeft voor de Rayleigh-golven op grotere afstand van de bron ten opzichte van de P en S-golf de grootste energie (>67%). Uit het boormonsterprofiel beschikbaar op DINOloket blijkt dat op de locatie een kleiachtig bovenlaag met daaronder zandlagen aanwezig zijn. Daarom is voor de prognoseberekening de materiaaldemping - α in de formule - bepaald op $\alpha = 0,02$ [1/m] voor de lage frequenties.



Figuur 6: Gegevens bodemprofiel ter plaatse

3.4 Overdrachtsprognoses betreffende gebouwen

Trillingen worden door de bodem overgedragen naar de gebouwconstructie. De mate van trillingsoverdracht hangt af van de wijze van funderen alsmede de massa en de stijfheid van het gebouw. Maatgevend voor de toetsing is de optredende trillingssterkte in het vloerveld. De constructiewijze, het materiaal en de overspanning van een vloer alsmede de belasting bepalen de 'eigenfrequenties' of resonantie frequenties van een vloerveld en de gevoeligheid voor trillingen.

Uit het onderzoek blijkt dat de op de meetposities de meeste relevante opgetreden trillingen met betrekking tot het spoorverkeer een dominante frequenties hebben vanaf 12 Hz tot 18 Hz. Deze frequenties komen overeen met de bekende spectra van trillingen afkomstig van goederen treinverkeer, uit de literatuur en uit onze meetervaring.

Fundering en gebouwconstructie

Bij de overgang van bodem naar gebouwfundatie treedt een verzwakking op van trillingen. Deze verzwakking wordt groter bij toenemende frequentie, waarbij de totale verzwakking zal afhangen van de spectrale verdeling. Voor lichte gebouwen zal de verzwakking minder zijn dan voor zwaar gebouw. In de prognose is rekening gehouden met de spectrale overdrachtswaarden uit tabel 4 die zijn gebaseerd op door TNO ontwikkelde empirische formules en eigen meetervaring.

Tabel 4: Trillingsoverdracht van bodem naar gebouw, verzwakking in dB.

Gebouw	Frequentie in Hz				
	4	8	16	32	63
Licht gebouw op staal	0	0	-1	-3	-8
Licht gebouw op palen	-2	-2	-3	-7	-12
Zwaar gebouw (Utiliteitsbouw)	-6	-6	-7	-9	-14

In de onderwerpelijke situatie is aan een bestaand gebouw gemeten en derhalve geen verzwakking toegepast, dit komt overeen met de metingen voor het pand en berekening naar de fundering van het bouwtype. $H_{f,xyz} = 1$ in de berekeningen

Vloerconstructie

Door resonanties zal de trillingssterkte in het midden van een vloerveld hoger zijn dan aan de randen. Voor de mate van resonantie zijn de demping en de ligging van eigenfrequenties van belang. Deze zijn afhankelijk van de constructiewijze, het materiaal en de vloeroverspanning.

Voor niet stationaire trillingen, zoals bij railverkeer, is de verwachting dat de versterkingsfactoren wat lager zullen uitvallen dan vermeld in tabel 5. Dit geldt wanneer de afstand tot de trillingsbron klein is en de aanstoting slechts over een beperkt deel van de draagconstructie plaatsvindt, zoals in de onderhavige situatie. In de prognoses is gerekend met ongunstige vloerveldversterking als functie van de frequentie (zie tabel 5). In tabel 5 wordt de overdracht van gebouw naar vloer voor twee vloertypen gegeven. Deze waarden zijn gebaseerd op door TNO ontwikkelde empirische formules en eigen meetervaring.

Tabel 5: Gemiddelde vloerveldversterking als functie van de frequentie.

Vloertype	Frequentie in Hz				
	4	8	16	32	63
Grote overspanning (3 – 5 Hz)	10	8	7	5	4
Kleine overspanning (12 Hz – 16 Hz)	4	8	10	7	5

Voor vloeren met grote overspanning is bij ca. 14-16 Hz er een versterking van ca. 10 dB.

Voor onderwerpelijke situatie is een versterking in de z-richting en y-richting van 10 dB toegepast; dit is een factor van ca. 3,0 ($H_{v,z}$ en $H_{v,xy}$ in de berekeningen).

Cumulatie overdrachtsprognose:

De cumulatieve overdrachtsfactoren zijn gegeven in tabel 6.

Tabel 6: Cumulatieve overdrachtsfactoren.

Terrein	$H_{f,z}$	$H_{f,xy}$	$H_{v,z}$	$H_{v,xy}$	$H_{fv,z} = H_{f,z} * H_{v,z}$	$H_{fv,xy} = H_{f,xy} * H_{v,xy}$
Ten noorden van het spoor	1,0	1,0	3	3	3	3

Nauwkeurigheidsmarge meten en rekenen

In de praktijk kunnen de waarden afwijken van de berekende resultaten, dit wordt uitgedrukt in een bepaalde onzekerheid. Voor de voorliggende prognose berekeningen wordt deze onzekerheid ingeschat op ± 2 dB.

Van de bodem (en dus ook de fundering van het spoor) en het gebouw zijn de eigenschappen niet nauwkeurig bekend. Een zand laag kan in verschillende periodes afgezet zijn, waardoor de stijfheid niet overal dezelfde is. In gebouwen geldt iets vergelijkbaars. Stijfheid van een gebouw kan in de tijd wijzigen, door bijvoorbeeld microscheuren, verbouwingen, zettingen van de fundering. Ten slotte moet nog aandacht worden besteed aan het ketengedrag van het systeem (spoor, grond, gebouw): In een berekening van dit systeem kan in elke stap een afwijking van de werkelijkheid optreden. Deze kleine afwijkingen kunnen later relatief grote gevolgen hebben als deze elkaar in de keten versterken.

De gerapporteerde onzekerheid is gebaseerd op een standaardonzekerheid, vermenigvuldigd met een dekkingsfactor $k = 2$, welke overeenkomt met een betrouwbaarheidsinterval van ongeveer 95%.

4. RESULTATEN TRILLINGSHINDER EN PROGNOSE

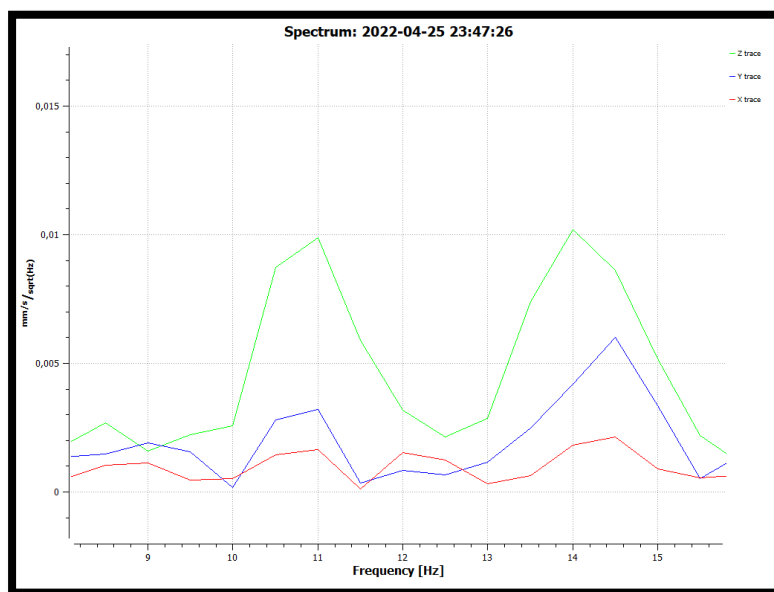
4.1. Meetresultaten

Gedurende de meetweek hebben stoortrillingen plaatsgevonden ten gevolge van o.a. de installatie en de-installatie van de instrumenten; deze zijn in de resultaten geïdentificeerd en geëlimineerd.

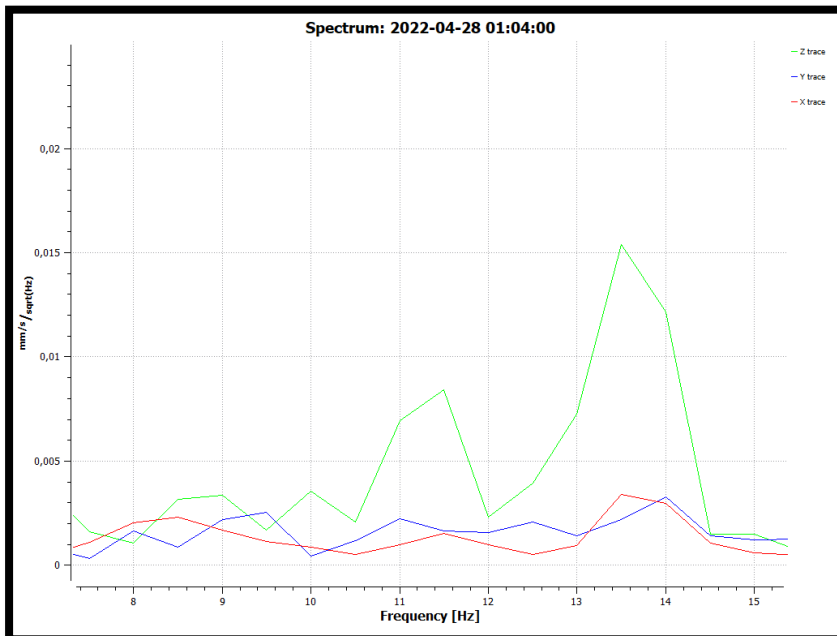
Tussen de spoorlijn en het plangebied ligt een weg met klinkers welke voor stoortrillingen zorgt in de dagperiode door auto die over deze weg rijden. Tevens waren er in de dag- de avondperiode stoortrillingen met een frequentie van ca. 48 Hz door een onbekende trillingsbron. Derhalve zijn alleen de meetgegevens geanalyseerd uit de nachtperiode (23:00 – 07:00 uur). Deze gegevens komen overeen met bemande metingen die verricht zijn overdag waarbij visueel vastgesteld kon worden dat het om treinpassages ging. De trillingsniveaus overdag en in de avond zijn gelijk aan die in de nachtperiode.

De volledige meetgegevens inclusief dominante frequenties, traces en spectra zijn in bijlage 1 opgenomen.

In figuren 7 t/m 8 zijn de spectra van de meeste relevante trillingen (hoogst laagfrequente opgetreden trillingsniveaus in de nachtperiode) vanwege railverkeer weergegeven, gemeten op meetpositie 1.



Figuur 7: Spectrum op meetpositie 1 van één van de meeste relevante trillingsniveaus vanwege railverkeer de gemeten snelheidswaarde wordt bepaald in het tijdsdomein.



Figuur 8: Spectrum op meetpositie 1 van één van de meeste relevante trillingsniveaus vanwege railverkeer (goederentrein), de gemeten snelheidswaarde wordt bepaald in het tijdsdomein.

In tabel 7 zijn de hoogste meetwaarden als maximale effectieve trillingssnelheid, $V_{\text{eff,max}}$, samengevat. In tabel 8 zijn de hoogste meetwaarden voor de lage maatgevende frequenties gegeven, deze zijn ook maatgevend voor de prognoseberekeningen. Zie ook bijlage 1.

Tabel 7: Meetresultaten

Meetpositie	Periode	Hoogst optredende meetwaarden van $V_{eff,max}$ [-]		
		z-richting	x-richting	y-richting
Positie 1 (32 meter afstand)	25-04-2022 - 23:47 (11-14 Hz)	0,24	-	0,2
	26-04-2022 - 23:46 (8-14 Hz)	0,14	-	0,12
	27-04-2022 - 00:03 (14 Hz)	0,14	-	0,11
	28-04-2022 - 01:04 (14 Hz)	0,19	-	0,15
	29-04-2022 - 00:46 (12-18 Hz)	0,15	-	0,12
	30-04-2022 - 06:31 (12 Hz)	0,19	-	0,16

4.2. Berekening resultaten; overdracht in de bodem met Barkan formule

Op basis van de meetresultaten op positie 1 is de theoretische overdracht op basis van de empirische formule van Barkan bepaald en dus zijn de trillingsniveaus in de bodem ter plaatse van de woningen op verschillende afstanden van het spoor berekend. De volledige berekeningen zijn in bijlage 2 opgenomen.

4.3. Prognose resultaten; overdracht van bodem naar vloer

Op basis van de meetresultaten en berekende resultaten zijn de waarden van V_{max} middels de overdracht functie van de bodem naar vloer berekend.

De volledige berekeningen zijn in bijlage 2 opgenomen.

De cumulatieve $H_{fv,xyz}$ overdracht factor bedraagt 3. Zie tabel 6.

4.4. Toetsing trillingsimmissie; prognose

De hoogst berekende waarden voor V_{\max} in de woningen ten noorden van het spoor zijn gegeven in tabel 8. De toetsing voor hinder is eveneens gegeven in tabel 8.

Tabel 8: Toetsing voor hinder in de toekomstige woningen

Afstand vanaf het spoor [m]	Periode	V_{\max} [-]	A_1^* [-]	Toetsing	A_2^* [-]	Toetsing
32	Nacht	0,72	0,1	<u>Voldoet niet</u>	0,2	<u>Voldoet niet</u>
40	Nacht	0,55	0,1	<u>Voldoet niet</u>	0,2	<u>Voldoet niet</u>
50	Nacht	0,40	0,1	<u>Voldoet niet</u>	0,2	<u>Voldoet niet</u>
60	Nacht	0,30	0,1	<u>Voldoet niet</u>	0,2	<u>Voldoet niet</u>
70	Nacht	0,23	0,1	<u>Voldoet niet</u>	0,2	<u>Voldoet niet</u>

* waarden uit de SBR-richtlijn.

4.5. Bespreking van de resultaten, hinder

De resultaten van de worst-case prognose-berekeningen zijn in tabel 9 samengevat, inclusief toetsing aan SBR-B en hinderkwalificatie.

Tabel 9: Samenvatting van de prognoseresultaten op verschillende afstanden van de spoorbaan in de toekomstige woningen.

Afstand tussen nieuwbouwen en spoorbaan [m]	Voldaan aan SBR-B voor woningen	Hinderkwalificatie
32	Nee, maatregelen noodzakelijk	Matige hinder
40	Nee, maatregelen noodzakelijk	Matige hinder
50	Nee, maatregelen noodzakelijk	Matige hinder
60	Nee, maatregelen noodzakelijk	Matige hinder
70	Nee, maatregelen noodzakelijk	Matige hinder

5. MOGELIJKE MAATREGELEN

Bij trillingen is er sprake van een trillingsbron (spoorweg), een medium (grond) dat de trillingen doorgeeft, en een ontvanger (personen in de gebouwen). Trillingsreducerende maatregelen kunnen zijn:

1. Bij de bron;
2. In het medium (bodem);
3. Bij de ontvanger.

1. Maatregelen bij de bron (spoor en baanlichaam) is geen optie.

2. Mogelijke maatregelen in de bodem zijn als volgt:

- Een optie is de plaatsing een trillingsscherm van enige afmetingen (dikte en diepte) tussen de spoorbaan en de woningen, nabij de woningen of naast het baanlichaam;
- Een ander optie is het creëren van een open diepe sleuf in de grond van enige afmetingen (dikte en diepte) tussen de spoorweg en de woningen.

Nader onderzoek is nodig om de haalbaarheid, het dempende effect en de afmetingen van een dergelijk maatregelen te berekenen. Gezien de afmetingen van het plangebied lijkt het erop dat het plaatsen van een trillingsscherm in de bodem onhaalbaar zullen zijn.

4. Mogelijke maatregelen bij de ontvanger zijn gerelateerd aan de afstand tussen bron en ontvanger en aan het funderingssysteem en de bouwelementen van de panden. In deze situatie is het niet mogelijk om woningen op een voldoende grote afstand van de spoorweg te projecteren om trillingshinder te voorkomen.

Bij de overgang van bodem naar gebouwfundatie treedt een verzwakking op van trillingen dus mogelijke maatregelen bij de ontvanger (nieuwbouw) zijn als volgt:

- Een optie is de plaatsing of een trillingsisolatie laag (dikke verloren bekisting van PUR) rond en beneden de nieuwe fundering. Deze maatregel heeft vooral effect bij een nieuwe fundering "op staal";
- Een optie is het gebruik van een minder trillingsgevoelig funderingssysteem (bijvoorbeeld op palen) in combinatie met het gebruik van vloerconstructies met bepaalde eigenfrequentie buiten het gebied van de spoortrillingen;
- Een andere optie kan zijn het uitvoeren van gebouwen met minimaal 4 bouwlagen in combinatie de toepassing van bouwmaterialen-/bouwtechnologieën met voldoende massa en stijfheid.

Een indicatief overzicht van de mogelijke maatregelen voor nieuwbouw - inclusief kostprijs indicatie - is in tabel 10.4 van de "Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen" te vinden (tabel 10 van dit rapport).

Aanvullend onderzoek is nodig om het frequentie afhankelijke dempend effect, de aard en soort en de kosten van een bepaalde maatregel te berekenen. Hierbij is echter ook de inbreng van de gemeente, planontwikkelaar en mogelijk architect noodzakelijk.

Tabel 10: Overzicht van de mogelijke maatregelen voor nieuwbouw, tabel 10.4 van de "Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen".

Maatregel	Wanneer reducerend effect?	Indicatie kostprijs*
aanpassen vloeren: dikte en/of overspanning	afhankelijk van de vloerafmetingen: opslinging voorkomen	+
paalfundering toepassen	overdracht van trillingen bodem naar fundering reduceren	++
wijzigen bouw materiaal	massa en stijfheid toevoegen: verlaagt responsie van gebouw op trillingen (soms kan ook extra demping worden gerealiseerd)	+ / ++
fundering inpakken (bijv. EPS blokken aan buitenzijde fundering)	voor hogere frequenties: trillingen worden niet of minder overgedragen van bodem naar fundering	+
fundering verzwaren en verstijven	voor hogere frequenties: trillingen worden niet of minder overgedragen van bodem naar fundering	+ / ++
afveren gebouw (trillingsisolerende blokken tussen fundering en bovenbouw) elastische blokken of stalen veren mogelijk	vermindering overdracht trillingen tussen fundering en bovenbouw: Effectief tot lage frequenties (circa 2 à 3 Hz is mogelijk)	++
vloeren loskoppelen van rest van constructie	vermindering overdracht trillingen van gebouwconstructie naar vloeren, wordt soms toegepast bij zware grote vloeren. Wordt bijvoorbeeld bij bioscopen en dergelijke toegepast	+
verstijvende elementen aanbrengen (bijvoorbeeld bij staalbouw extra muurelementen -> sterk afhankelijk van het gebouwontwerp)	vermindering overdracht trillingen vanuit bodem naar gebouw door verhoogde stijfheid van constructie.	+ / ++
locatiekeuze gebouw	afstand tussen gebouw en spoor verhogen, locaties nabij wissels, ES-lassen en kunstwerkovergangen zoveel mogelijk vermijden	0

* 0 is nauwelijks extra kosten, + is beperkte extra kosten, ++ is behoorlijke extra kosten

6. CONCLUSIE

Uit de resultaten van het voorliggend indicatief onderzoek inzake hinder voor personen in gebouwen, kan het volgende worden geconcludeerd:

Het is de verwachting dat in de toekomstige nieuwbouwen ten minste matige trillingshinder zal optreden vanwege railverkeer.

Er dienen maatregelen te worden genomen (zie hoofdstuk 5 voor een overzicht van de mogelijkheden) om trillingshinder in de nieuwe gebouwen te voorkomen.

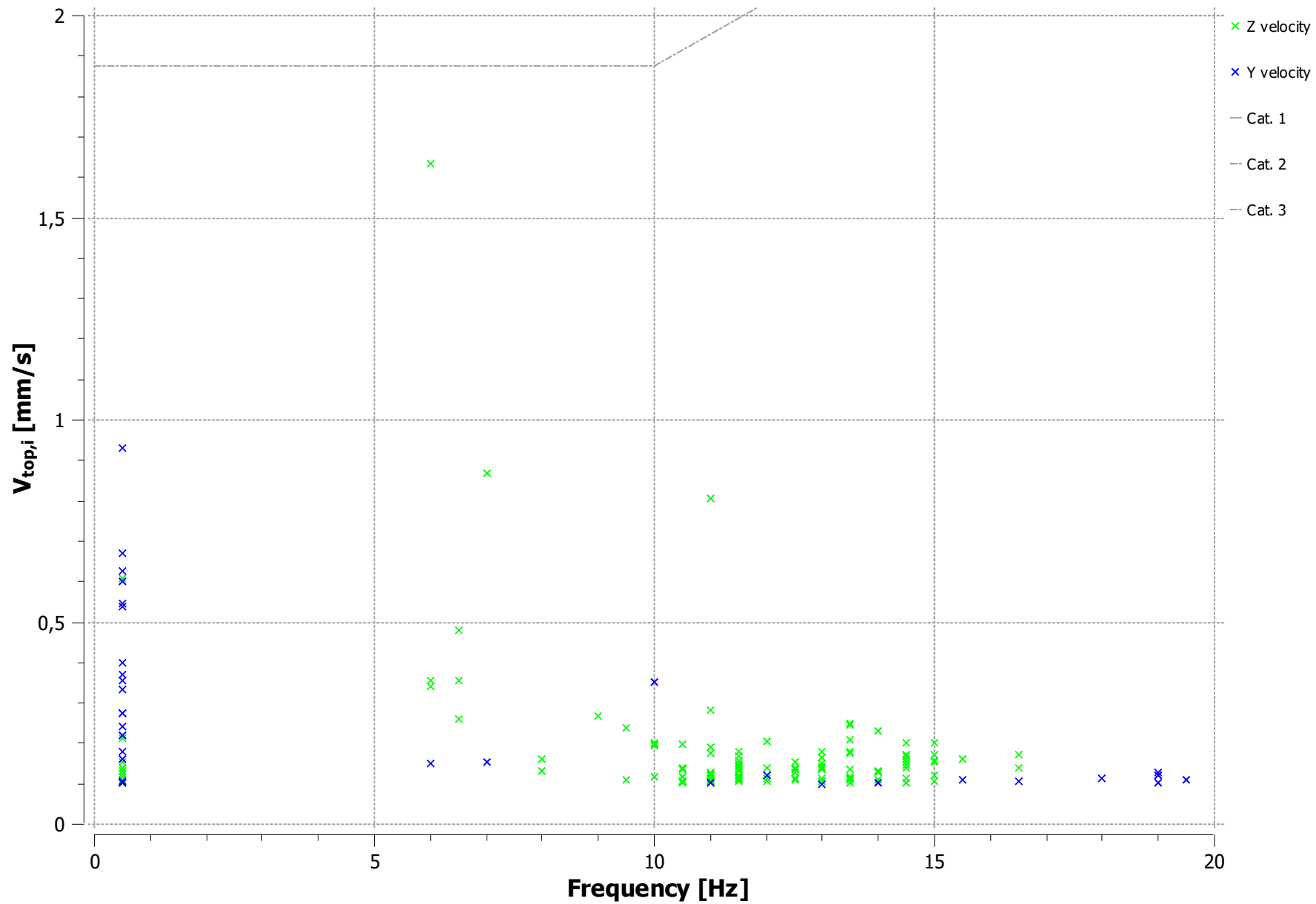
Aanvullend onderzoek is nodig om het frequentie afhankelijke dempend effect, de aard en soort en de kosten van een bepaalde maatregel te berekenen. Hierbij is echter ook de inbreng van de gemeente, planontwikkelaar en de architect noodzakelijk.

AV-CONSULTING B.V.

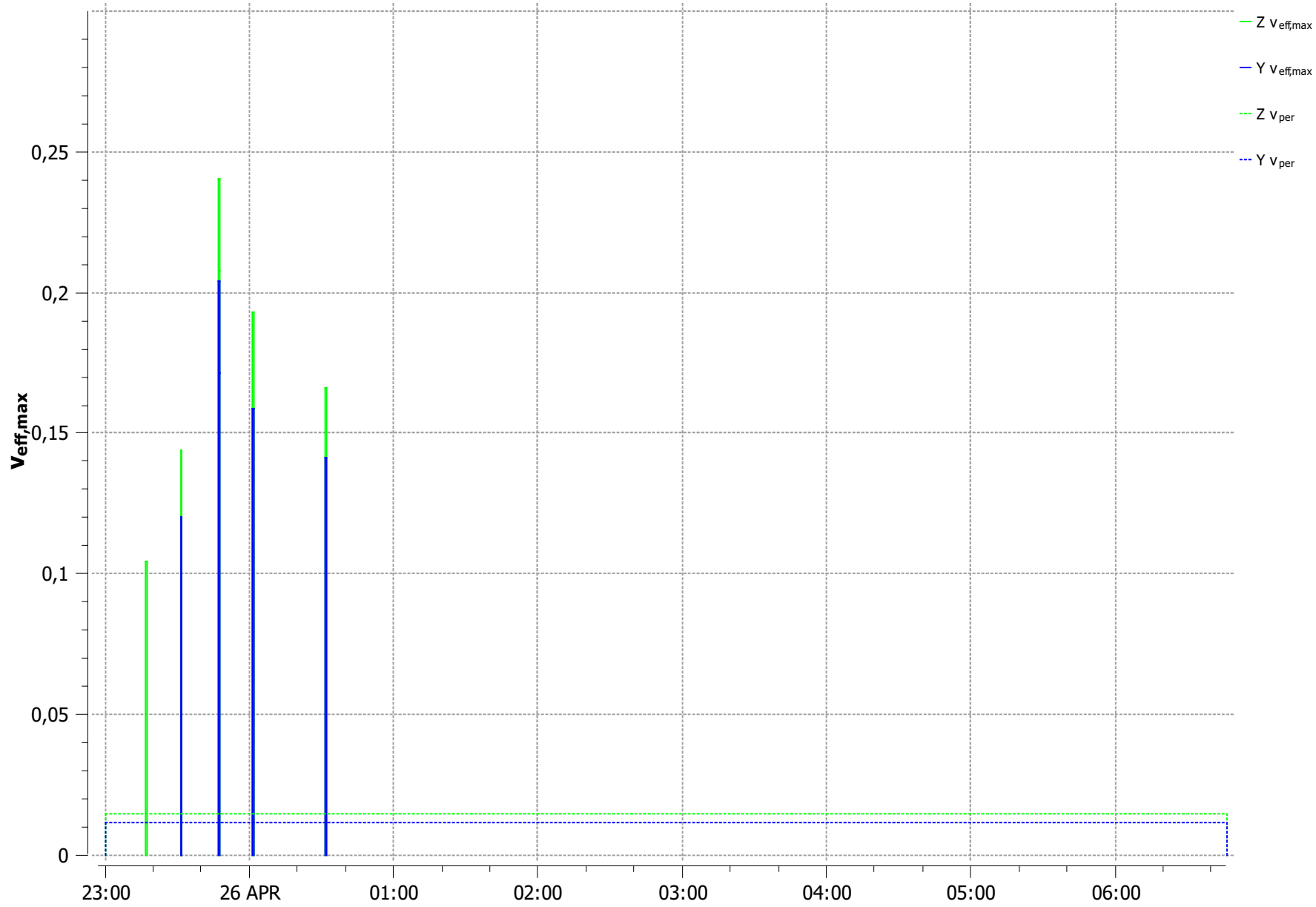
Raadgevende ingenieurs

BIJLAGE 1: MEETRESULTATEN

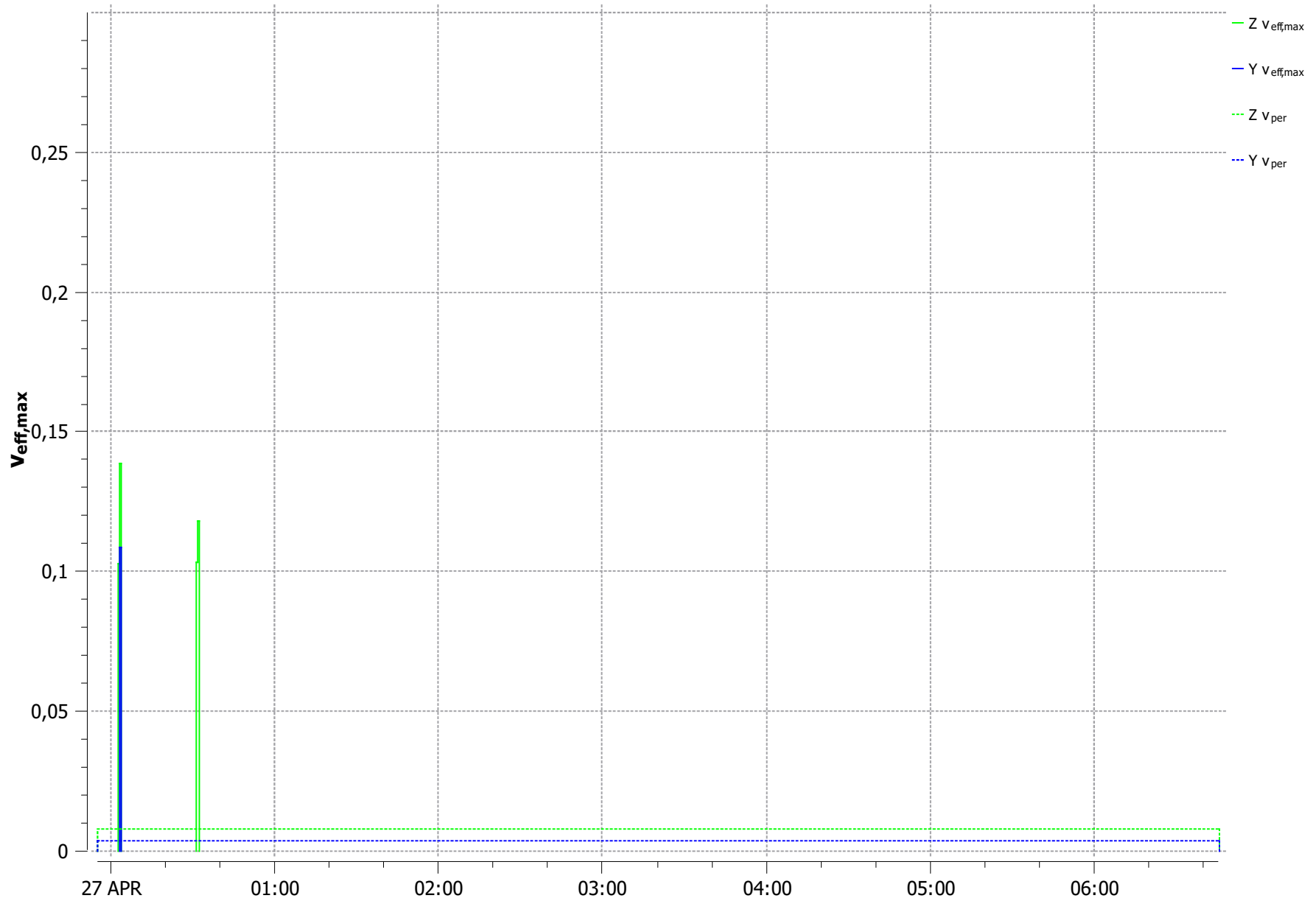
VIB00093 Weseperstraat 7 2022-04-25



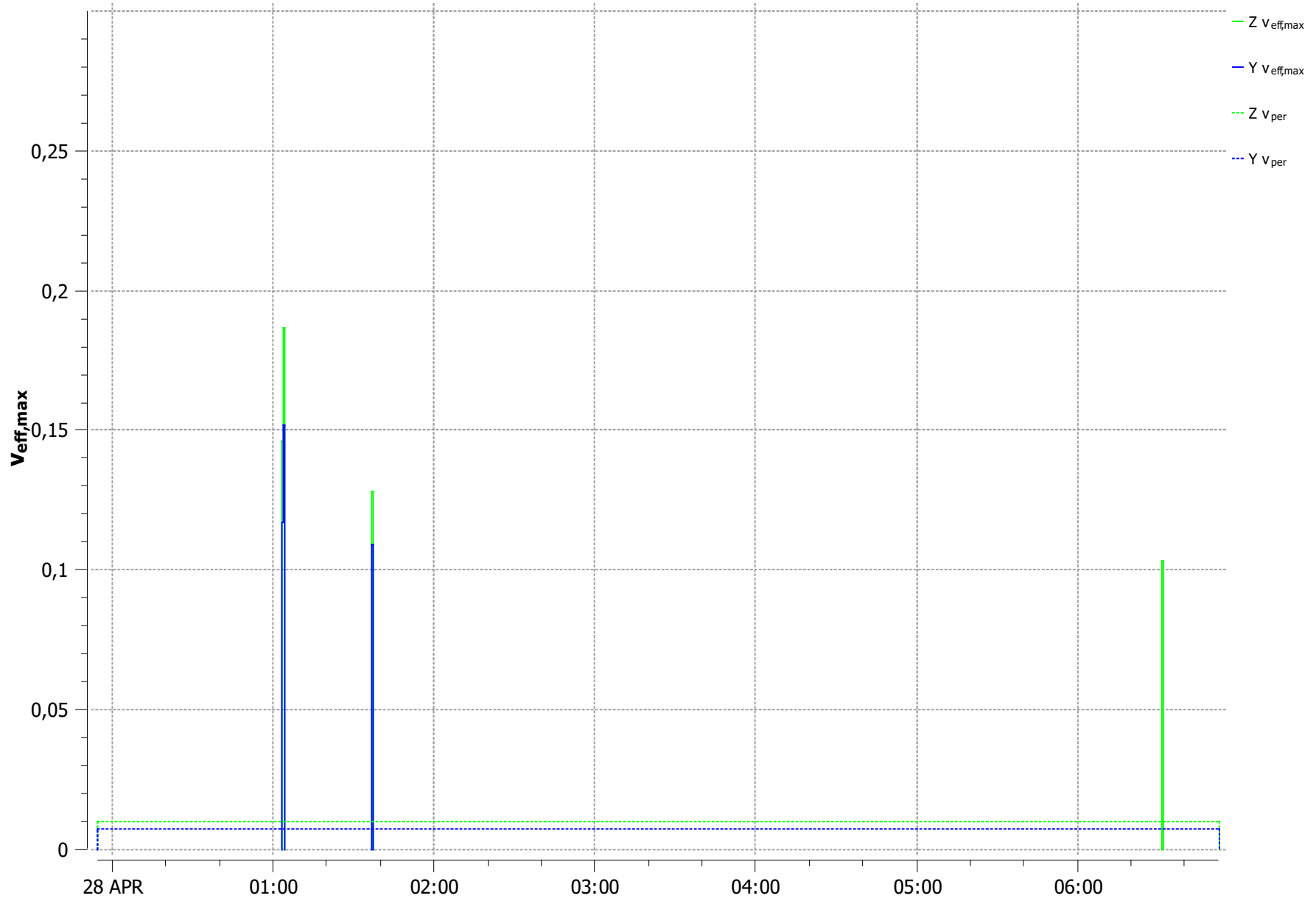
VIB00093 Weseperstraat 7 2022-04-25



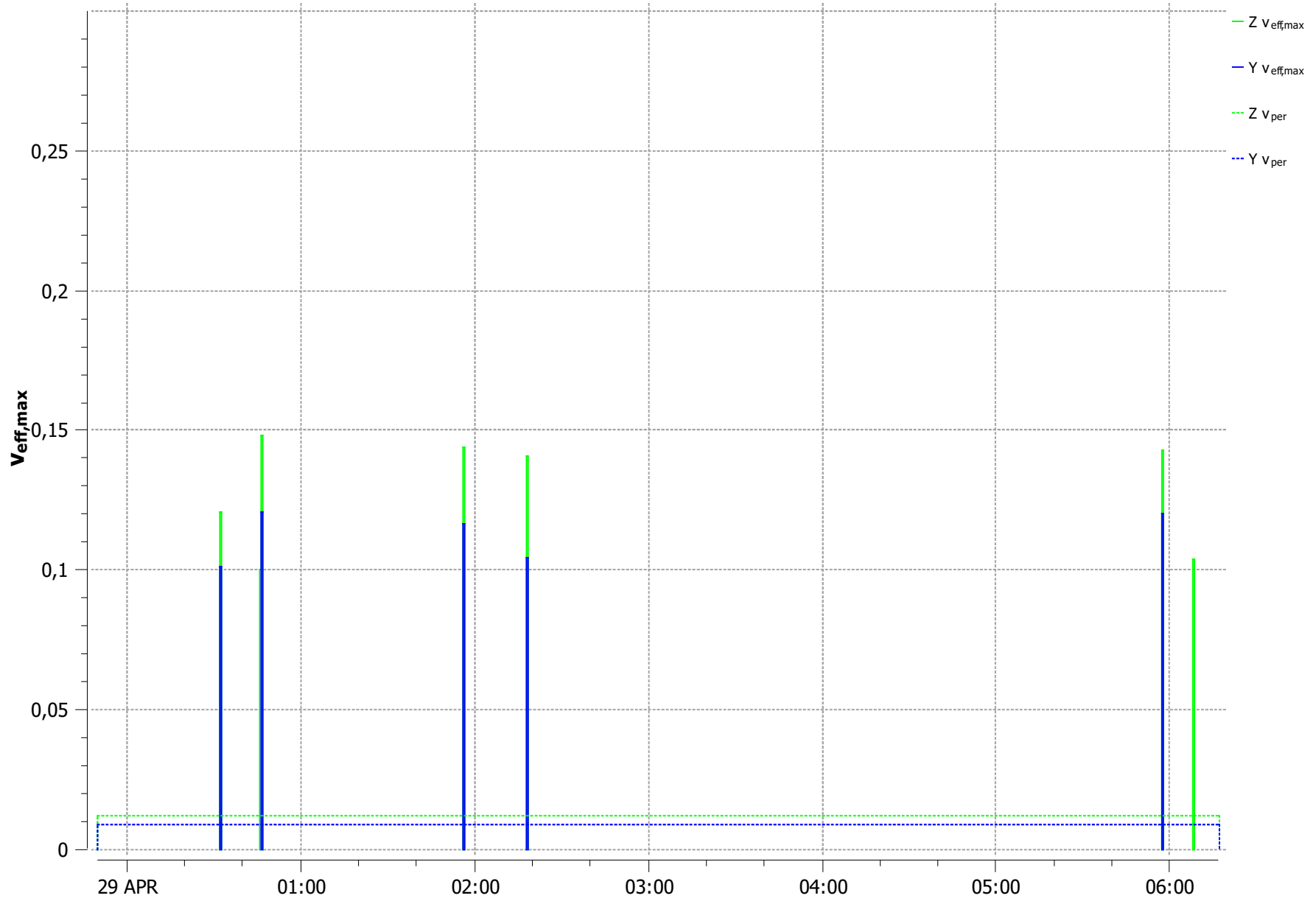
VIB00093 Weseperstraat 7 2022-04-25



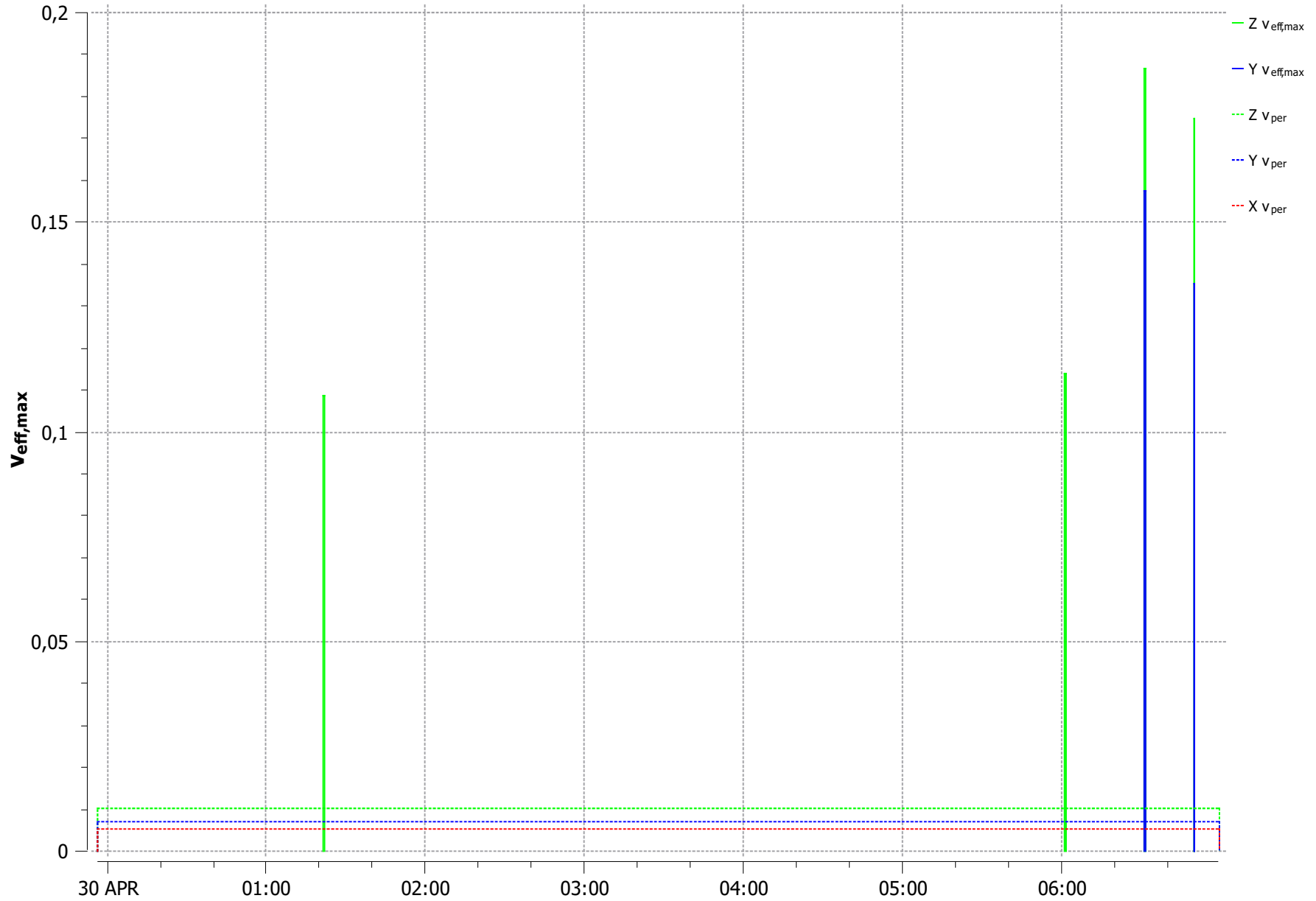
VIB00093 Weseperstraat 7 2022-04-25



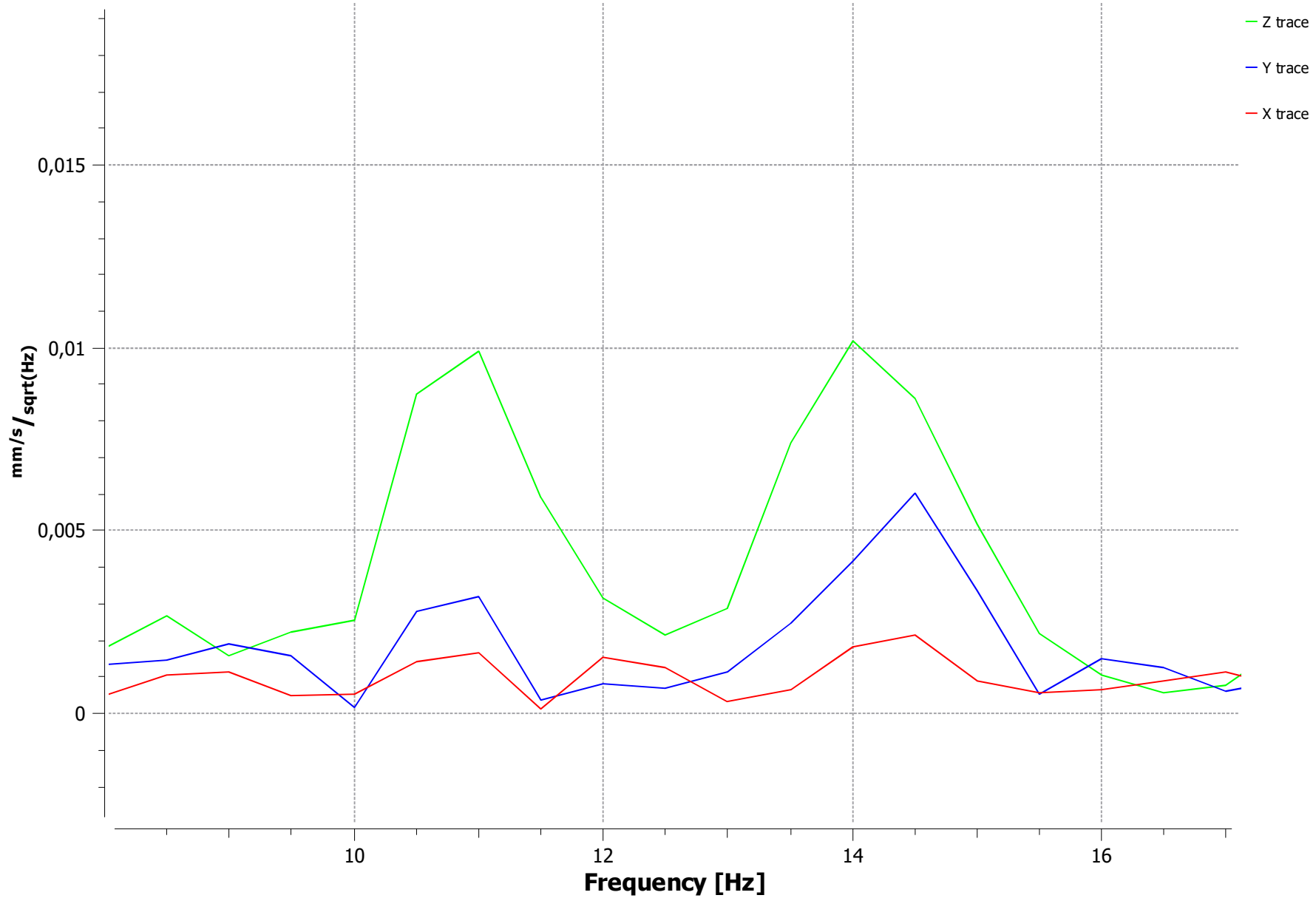
VIB00093 Weseperstraat 7 2022-04-25



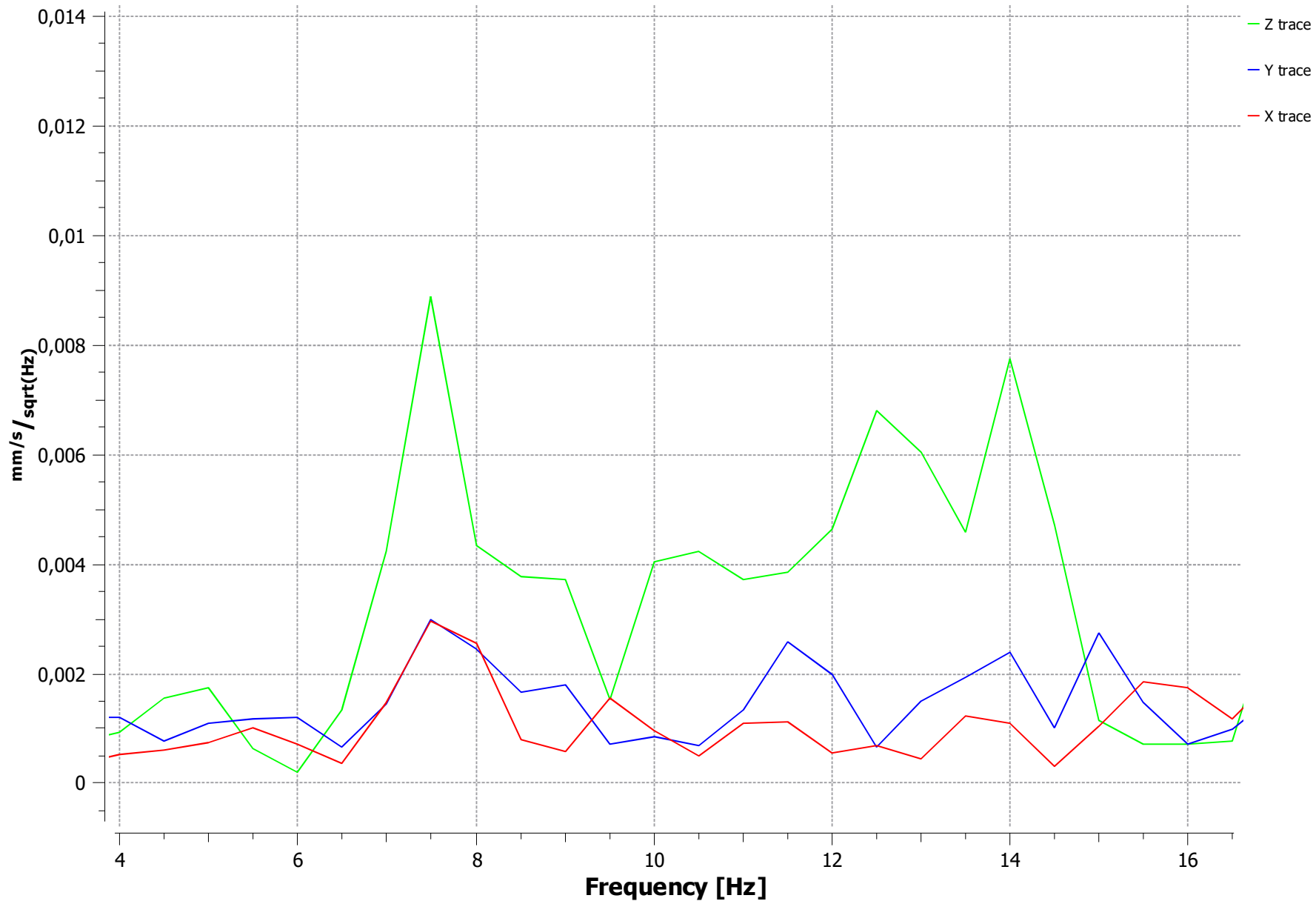
VIB00093 Weseperstraat 7 2022-04-25



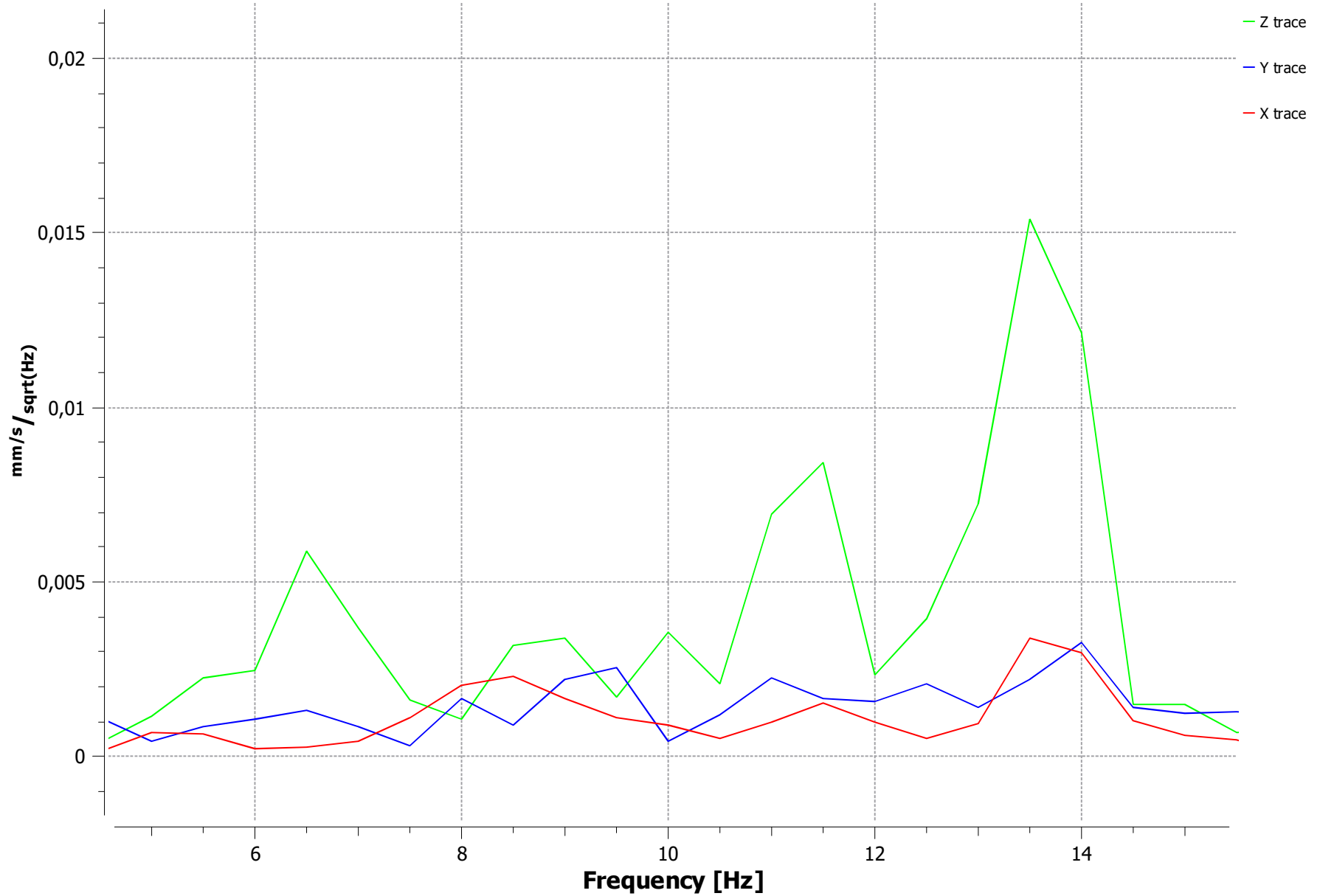
Spectrum: 2022-04-25 23:47:26



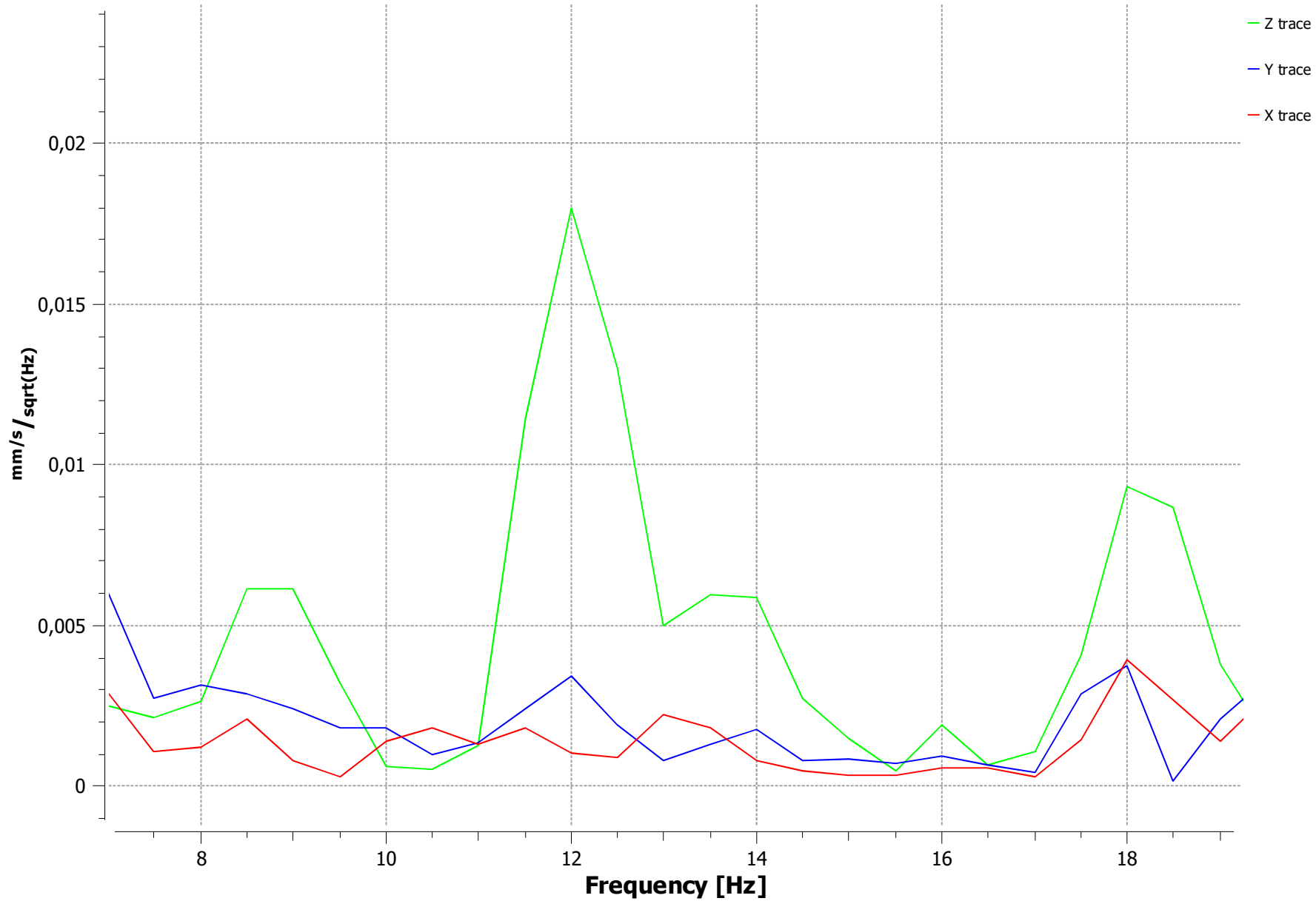
Spectrum: 2022-04-26 23:46:34



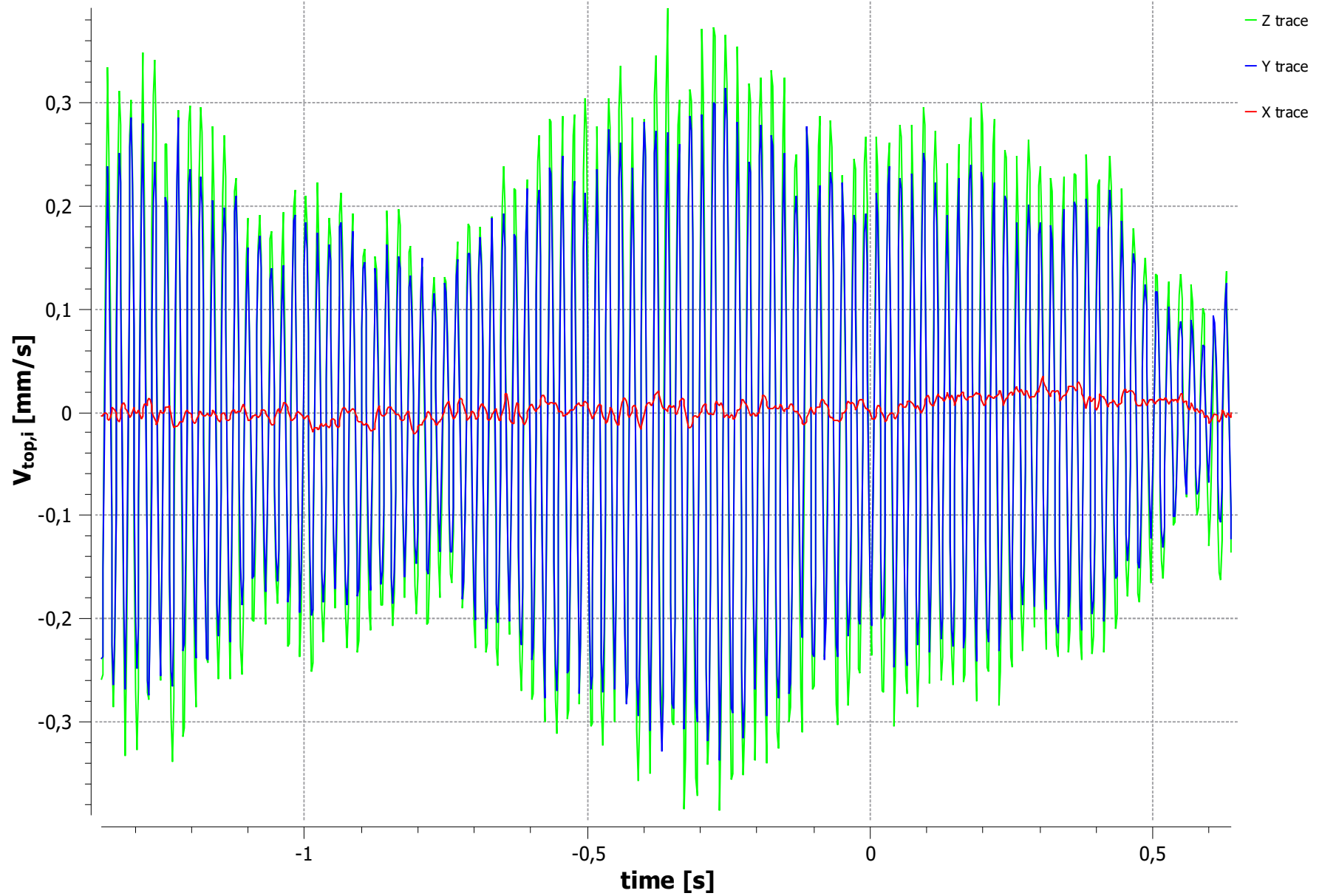
Spectrum: 2022-04-28 01:04:00



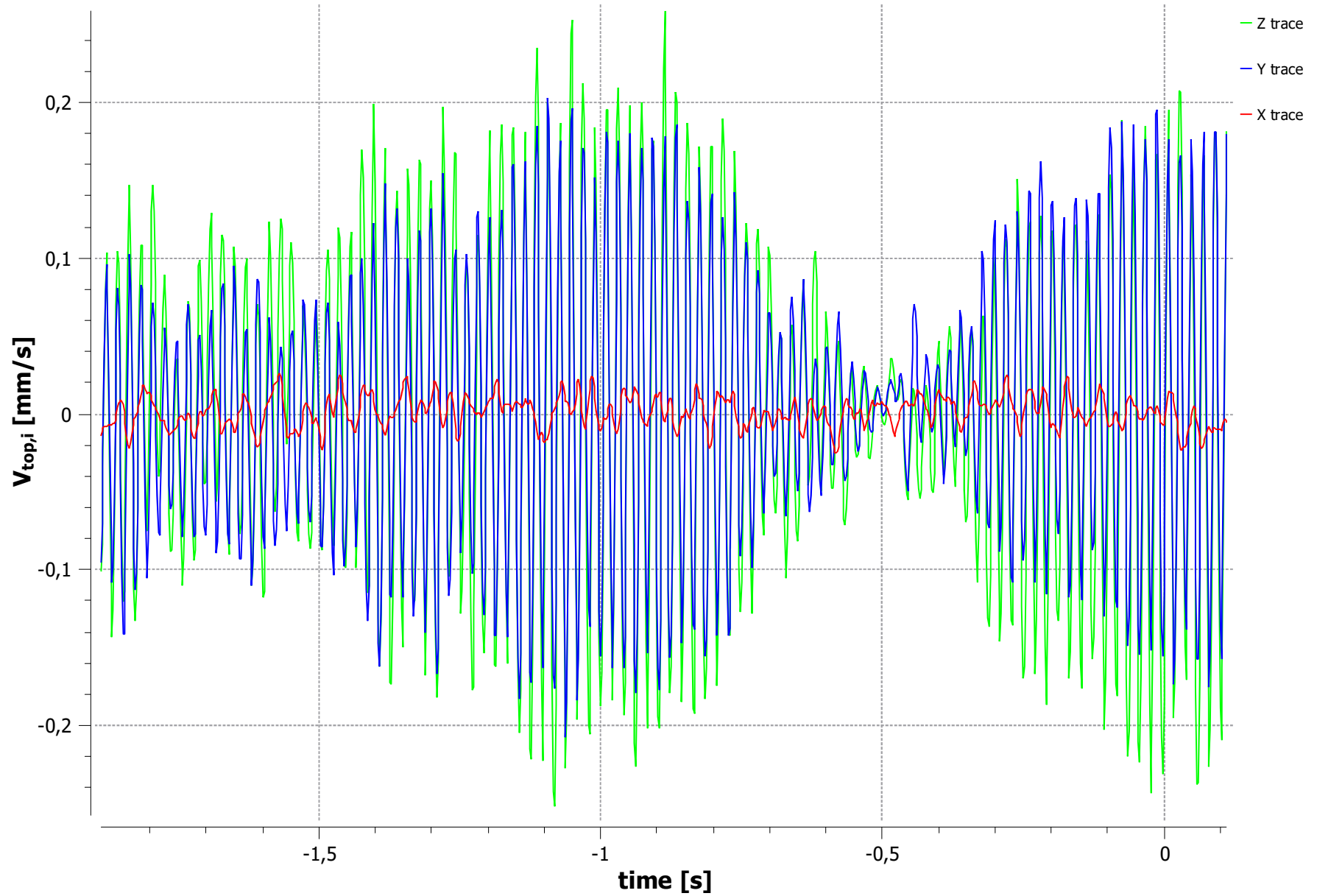
Spectrum: 2022-04-29 00:46:30



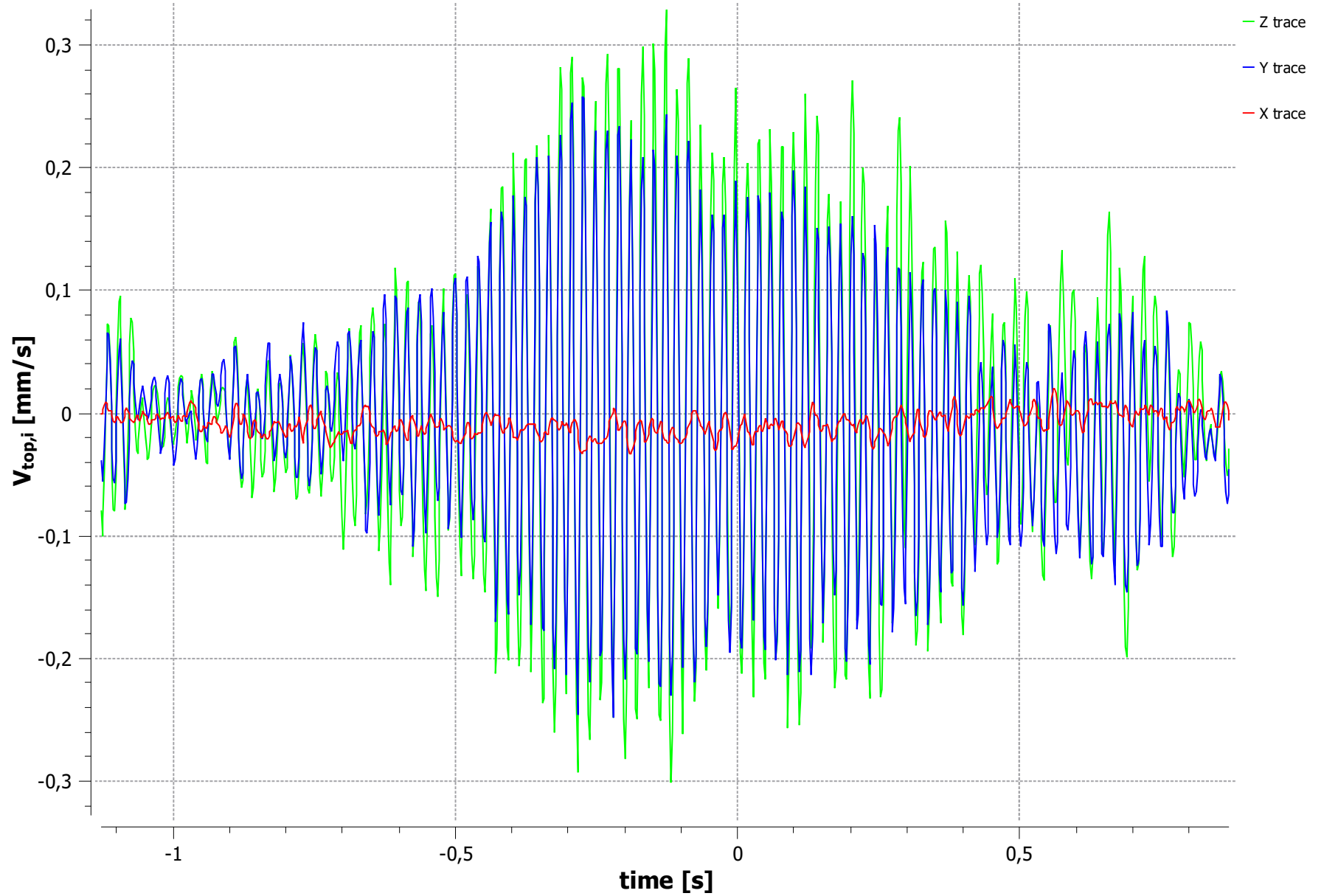
Velocity Trace: 2022-04-25 23:47:26



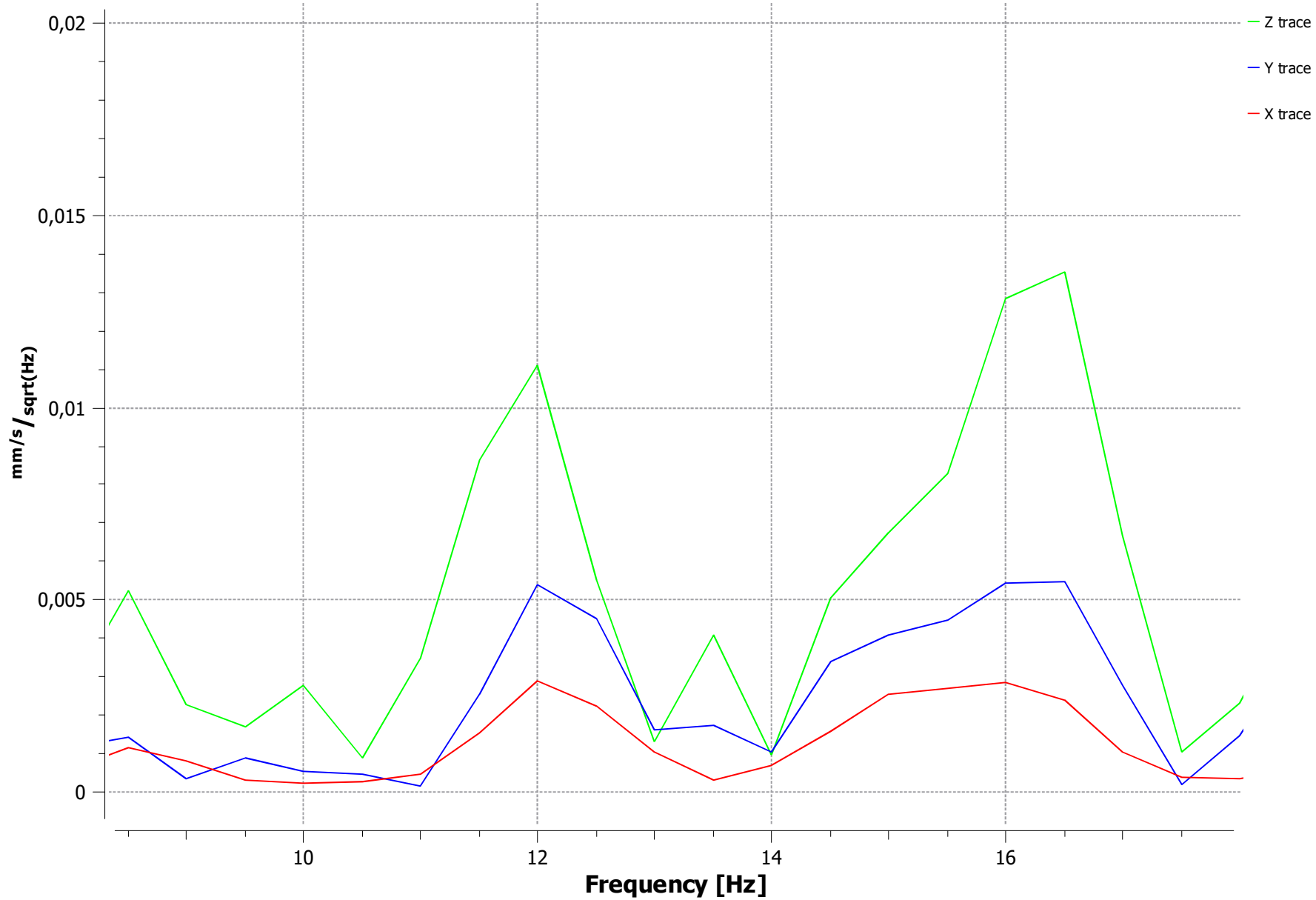
Velocity Trace: 2022-04-26 23:46:34



Velocity Trace: 2022-04-28 01:04:00



Spectrum: 2022-04-29 23:54:08



BIJLAGE 2: BEREKENINGSBLADEN

Formule van Barkan

$$V_R = V_{R_0} * \left[\frac{R_0}{R} \right]^n e^{-\alpha(R-R_0)}$$

Waarin:
 V_R trillingssterkte (m/s) op een afstand R van de bron;
 V_{R_0} trillingssterkte (m/s) op een afstand R_0 van de bron;
 R afstand tussen immissiepunt en de bron;
 R_0 afstand tussen meetpunt en de bron;
 α materiaaldemping in de bodem (1/m);
 n n = 1 tot 2 voor P- en S-golven;
 n = 0.5 voor R-golven.

Rekenmodel met Barkan formule en frequentie afhankelijke overdrachtfuncties

Woningen op 32 [m] afstand van het spoor

Invoergegevens berekeningen:

RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	α [1/m] X	α [1/m] Y	Overdrachtfactor bodem - vloer Z	Overdrachtfactor bodem - vloer X	Overdrachtfactor bodem - vloer Y
32	32	0,5	0,02	0,02	0,02	3	3	3

Dagperiode

		Z-richting								
Veff,max		VR0 [-]	RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]	
		0,24	32	32	0,5	0,02		0,240	14	
Vper		0,03	32	32	0,5	0,02	Vper	0,030	-	
		Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]								
Vmax		0,72								
	Vper	0,09								
		X-richting								
Veff,max		VR0 [-]	RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]	
		0,00	32	32	0,5	0,02		0,000	0	
Vper		0,00	32	32	0,5	0,02	Vper	0,000	-	
		Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]								
Vmax		0,00								
	Vper	0,00								
		Y-richting								
Veff,max		VR0 [-]	RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]	
		0,20	32	32	0,5	0,02		0,200	14	
Vper		0,02	32	32	0,5	0,02	Vper	0,020	-	
		Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]								
Vmax		0,60								
	Vper	0,06								

Avondperiode

		Z-richting								
Veff,max		VR0 [-]	RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]	
		0,24	32	32	0,5	0,02		0,240	14	
Vper		0,03	32	32	0,5	0,02	Vper	0,030	-	
		Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]								
Vmax		0,72								
	Vper	0,09								
		X-richting								
Veff,max		VR0 [-]	RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]	
		0,00	32	32	0,5	0,02		0,000	0	
Vper		0,00	32	32	0,5	0,02	Vper	0,000	-	
		Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]								
Vmax		0,00								
	Vper	0,00								
		Y-richting								
Veff,max		VR0 [-]	RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]	
		0,20	32	32	0,5	0,02		0,200	14	
Vper		0,02	32	32	0,5	0,02	Vper	0,020	-	
		Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]								
Vmax		0,60								
	Vper	0,06								

Nachtperiode

Z-richting

	VR0 [-]	RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z
Veff,max	0,24	32	32	0,5	0,02
Vper	0,03	32	32	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,24	14
Vper	0,030	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	0,72
Vper	0,09

X-richting

	VR0 [-]	RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X
Veff,max	0,00	32	32	0,5	0,02
Vper	0,00	32	32	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,00	0
Vper	0,00	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	0,00
Vper	0,00

Y-richting

	VR0 [-]	RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y
Veff,max	0,20	32	32	0,5	0,02
Vper	0,02	32	32	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,20	14
Vper	0,02	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	0,60
Vper	0,06

Formule van Barkan

$$V_R = V_{R_0} * \left[\frac{R_0}{R} \right]^n e^{-\alpha(R-R_0)}$$

Waarin:
 V_R trillingssterkte (m/s) op een afstand R van de bron;
 V_{R_0} trillingssterkte (m/s) op een afstand R_0 van de bron;
 R afstand tussen immissiepunt en de bron;
 R_0 afstand tussen meetpunt en de bron;
 α materiaaldemping in de bodem (1/m);
 n n = 1 tot 2 voor P- en S-golven;
 n = 0.5 voor R-golven.

Rekenmodel met Barkan formule en frequentie afhankelijke overdrachtfuncties

Woningen op 32 [m] afstand van het spoor

Invoergegevens berekeningen:

RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	α [1/m] X	α [1/m] Y	Overdrachtfactor bodem - vloer Z	Overdrachtfactor bodem - vloer X	Overdrachtfactor bodem - vloer Y
32	70	0,5	0,02	0,02	0,02	3	3	3

Dagperiode

Z-richting															
Veff,max	VR0 [-]	RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]							
	0,24	32	70	0,5	0,02		0,076	14							
Vper	0,03	32	70	0,5	0,02	Vper	0,009	-							
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Vmax</td> <td>0,23</td> </tr> <tr> <td>Vper</td> <td>0,03</td> </tr> </tbody> </table>										Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]		Vmax	0,23	Vper	0,03
Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]															
Vmax	0,23														
Vper	0,03														
X-richting															
Veff,max	VR0 [-]	RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]							
	0,00	32	70	0,5	0,02		0,000	0							
Vper	0,00	32	70	0,5	0,02	Vper	0,000	-							
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Vmax</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>Vper</td> <td>0,00</td> </tr> </tbody> </table>										Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]		Vmax	0,00	Vper	0,00
Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]															
Vmax	0,00														
Vper	0,00														
Y-richting															
Veff,max	VR0 [-]	RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]							
	0,20	32	70	0,5	0,02		0,063	14							
Vper	0,02	32	70	0,5	0,02	Vper	0,006	-							
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Vmax</td> <td>0,19</td> </tr> <tr> <td>Vper</td> <td>0,02</td> </tr> </tbody> </table>										Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]		Vmax	0,19	Vper	0,02
Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]															
Vmax	0,19														
Vper	0,02														

Nachtperiode

Z-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z
Veff,max	0,24	32	70	0,5	0,02
Vper	0,03	32	70	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,08	14
Vper	0,009	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	0,23
Vper	0,03

X-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X
Veff,max	0,00	32	70	0,5	0,02
Vper	0,00	32	70	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,00	0
Vper	0,00	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	0,00
Vper	0,00

Y-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y
Veff,max	0,20	32	70	0,5	0,02
Vper	0,02	32	70	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,06	14
Vper	0,01	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	0,19
Vper	0,02

Formule van Barkan

$$V_R = V_{R_0} * \left[\frac{R_0}{R} \right]^n e^{-\alpha(R-R_0)}$$

Waarin:
 V_R trillingssterkte (m/s) op een afstand R van de bron;
 V_{R_0} trillingssterkte (m/s) op een afstand R_0 van de bron;
 R afstand tussen immissiepunt en de bron;
 R_0 afstand tussen meetpunt en de bron;
 α materiaaldemping in de bodem (1/m);
 n n = 1 tot 2 voor P- en S-golven;
 n = 0.5 voor R-golven.

Rekenmodel met Barkan formule en frequentie afhankelijke overdrachtfuncties

Woningen op 32 [m] afstand van het spoor

Invoergegevens berekeningen:

RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	α [1/m] X	α [1/m] Y	Overdrachtfactor bodem - vloer Z	Overdrachtfactor bodem - vloer X	Overdrachtfactor bodem - vloer Y
32	60	0,5	0,02	0,02	0,02	3	3	3

Dagperiode

		Z-richting								
Veff,max		VR0 [-]	RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]	
		0,24	32	60	0,5	0,02		0,100	14	
Vper		0,03	32	60	0,5	0,02	Vper	0,013	-	
		Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]								
Vmax		0,30								
Vper		0,04								
		X-richting								
Veff,max		VR0 [-]	RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]	
		0,00	32	60	0,5	0,02		0,000	0	
Vper		0,00	32	60	0,5	0,02	Vper	0,000	-	
		Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]								
Vmax		0,00								
Vper		0,00								
		Y-richting								
Veff,max		VR0 [-]	RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]	
		0,20	32	60	0,5	0,02		0,083	14	
Vper		0,02	32	60	0,5	0,02	Vper	0,008	-	
		Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]								
Vmax		0,25								
Vper		0,03								

Nachtperiode

Z-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z
Veff,max	0,24	32	60	0,5	0,02
Vper	0,03	32	60	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,10	14
Vper	0,013	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	0,30
Vper	0,04

X-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X
Veff,max	0,00	32	60	0,5	0,02
Vper	0,00	32	60	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,00	0
Vper	0,00	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	0,00
Vper	0,00

Y-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y
Veff,max	0,20	32	60	0,5	0,02
Vper	0,02	32	60	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,08	14
Vper	0,01	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	0,25
Vper	0,03

Formule van Barkan

$$V_R = V_{R_0} * \left[\frac{R_0}{R} \right]^n e^{-\alpha(R-R_0)}$$

Waarin:
 V_R trillingssterkte (m/s) op een afstand R van de bron;
 V_{R_0} trillingssterkte (m/s) op een afstand R_0 van de bron;
 R afstand tussen immissiepunt en de bron;
 R_0 afstand tussen meetpunt en de bron;
 α materiaaldemping in de bodem (1/m);
 n n = 1 tot 2 voor P- en S-golven;
 n = 0.5 voor R-golven.

Rekenmodel met Barkan formule en frequentie afhankelijke overdrachtfuncties

Woningen op 32 [m] afstand van het spoor

Invoergegevens berekeningen:

RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	α [1/m] X	α [1/m] Y	Overdrachtfactor bodem - vloer Z	Overdrachtfactor bodem - vloer X	Overdrachtfactor bodem - vloer Y
32	50	0,5	0,02	0,02	0,02	3	3	3

Dagperiode

		Z-richting								
Veff,max		VR0 [-]	RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]	
		0,24	32	50	0,5	0,02		0,134	14	
Vper		0,03	32	50	0,5	0,02	Vper	0,017	-	
		Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]								
Vmax		0,40								
Vper		0,05								
		X-richting								
Veff,max		VR0 [-]	RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]	
		0,00	32	50	0,5	0,02		0,000	0	
Vper		0,00	32	50	0,5	0,02	Vper	0,000	-	
		Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]								
Vmax		0,00								
Vper		0,00								
		Y-richting								
Veff,max		VR0 [-]	RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]	
		0,20	32	50	0,5	0,02		0,112	14	
Vper		0,02	32	50	0,5	0,02	Vper	0,011	-	
		Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]								
Vmax		0,33								
Vper		0,03								

Avondperiode

		Z-richting								
Veff,max		VR0 [-]	RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]	
		0,24	32	50	0,5	0,02		0,134	14	
Vper		0,03	32	50	0,5	0,02	Vper	0,017	-	
		Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]								
Vmax		0,40								
Vper		0,05								
		X-richting								
Veff,max		VR0 [-]	RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]	
		0,00	32	50	0,5	0,02		0,000	0	
Vper		0,00	32	50	0,5	0,02	Vper	0,000	-	
		Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]								
Vmax		0,00								
Vper		0,00								
		Y-richting								
Veff,max		VR0 [-]	RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]	
		0,20	32	50	0,5	0,02		0,112	14	
Vper		0,02	32	50	0,5	0,02	Vper	0,011	-	
		Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]								
Vmax		0,33								
Vper		0,03								

Nachtperiode

Z-richting

	VR0 [-]	RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z
Veff,max	0,24	32	50	0,5	0,02
Vper	0,03	32	50	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,13	14
Vper	0,017	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	0,40
Vper	0,05

X-richting

	VR0 [-]	RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X
Veff,max	0,00	32	50	0,5	0,02
Vper	0,00	32	50	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,00	0
Vper	0,00	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	0,00
Vper	0,00

Y-richting

	VR0 [-]	RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y
Veff,max	0,20	32	50	0,5	0,02
Vper	0,02	32	50	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,11	14
Vper	0,01	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	0,33
Vper	0,03

Formule van Barkan

$$V_R = V_{R_0} * \left[\frac{R_0}{R} \right]^n e^{-\alpha(R-R_0)}$$

Waarin:
 V_R trillingssterkte (m/s) op een afstand R van de bron;
 V_{R_0} trillingssterkte (m/s) op een afstand R_0 van de bron;
 R afstand tussen immissiepunt en de bron;
 R_0 afstand tussen meetpunt en de bron;
 α materiaaldemping in de bodem (1/m);
 n n = 1 tot 2 voor P- en S-golven;
 n = 0.5 voor R-golven.

Rekenmodel met Barkan formule en frequentie afhankelijke overdrachtfuncties

Woningen op 32 [m] afstand van het spoor

Invoergegevens berekeningen:

RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	α [1/m] X	α [1/m] Y	Overdrachtfactor bodem - vloer Z	Overdrachtfactor bodem - vloer X	Overdrachtfactor bodem - vloer Y
32	40	0,5	0,02	0,02	0,02	3	3	3

Dagperiode

		Z-richting														
Veff,max		VR0 [-]	RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]							
		0,24	32	40	0,5	0,02		0,183	14							
Vper		0,03	32	40	0,5	0,02	Vper	0,023	-							
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Vmax</td> <td>0,55</td> </tr> <tr> <td>Vper</td> <td>0,07</td> </tr> </tbody> </table>					Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]		Vmax	0,55	Vper	0,07				
Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]																
Vmax	0,55															
Vper	0,07															
		X-richting														
Veff,max		VR0 [-]	RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]							
		0,00	32	40	0,5	0,02		0,000	0							
Vper		0,00	32	40	0,5	0,02	Vper	0,000	-							
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Vmax</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>Vper</td> <td>0,00</td> </tr> </tbody> </table>					Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]		Vmax	0,00	Vper	0,00				
Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]																
Vmax	0,00															
Vper	0,00															
		Y-richting														
Veff,max		VR0 [-]	RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]							
		0,20	32	40	0,5	0,02		0,152	14							
Vper		0,02	32	40	0,5	0,02	Vper	0,015	-							
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Vmax</td> <td>0,46</td> </tr> <tr> <td>Vper</td> <td>0,05</td> </tr> </tbody> </table>					Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]		Vmax	0,46	Vper	0,05				
Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]																
Vmax	0,46															
Vper	0,05															

Nachtperiode

Z-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z
Veff,max	0,24	32	40	0,5	0,02
Vper	0,03	32	40	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,18	14
Vper	0,023	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	0,55
Vper	0,07

X-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X
Veff,max	0,00	32	40	0,5	0,02
Vper	0,00	32	40	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,00	0
Vper	0,00	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	0,00
Vper	0,00

Y-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y
Veff,max	0,20	32	40	0,5	0,02
Vper	0,02	32	40	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,15	14
Vper	0,02	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	0,46
Vper	0,05

BIJLAGE 3: TERMEN EN DEFINITIES VAN SBR-B



**HINDER VOOR PERSONEN IN
GEBOUWEN**

trillings- richtlijn deel b



4 Termen en definities

Opmerking: de termen en definities zijn, voor zover van toepassing, in overeenstemming met NEN-ISO 2041 [3]

Amplitude-frequentiekarakteristiek: de verhouding tussen ingaand en uitgaand signaal van een meetsysteem als functie van de frequentie, gegeven in een zeker frequentie-interval.

Beoordelingsperiode: een tijdsinterval waarin een dag wordt verdeeld voor de toetsing van de trillingssterkte aan de streefwaarden:

de dagperiode van 07.00 uur tot 19.00 uur;

de avondperiode van 19.00 uur tot 23.00 uur;

de nachtperiode van 23.00 uur tot 07.00 uur.

Continue trilling: een trilling die ten opzichte van de grootste trillingstijd (laagste eigenfrequentie) gedurende een lange tijd aanwezig is.

Frequentie: de reciproque van de trillingstijd.

Herhaald voorkomende trilling: kortdurende trilling door weg- of railverkeer (waaronder ook heftrucks, bulldozers, kranen op rails en dergelijke) met een repeterend karakter.

Kortdurende trilling: trilling met een kortdurend (doorgaans korter dan enkele seconden), uitdempend karakter. De trilling wordt veroorzaakt door een stootvormige excitatie.

Niet-stationaire trilling: continue trilling waarvan de sterkte als functie van de tijd niet constant is, of een kortdurende trilling.

Meetduur: tijdsduur waarin met één configuratie meetpunten een meting wordt uitgevoerd.

Meetpunt: positie waar een trillingsgrootte (versnelling, snelheid, verplaatsing) wordt gemeten.

Meetrichting: de richting waarin de trillingsgrootte (versnelling, snelheid, verplaatsing) in een meetpunt wordt gemeten.

Meting: het bepalen van de momentane waarde van de trillingsgrootte gedurende een zekere aaneengesloten tijdsduur door middel van een meetmethode.

Momentane waarde: de waarde van een variërende grootte op een zeker tijdstip.

Snelheid: een vectoriële grootte die de tijdsafgeleide van de verplaatsing weergeeft.

Stationaire trilling: continue trilling die gedurende een lange aaneengesloten periode met een constante sterkte voorkomt.

Streefwaarde: de waarde voor de trillingssterkte waarbij verwacht wordt dat er nog geen trillingshinder optreedt.

Trilling: een variatie van een grootte (verplaatsing, snelheid, versnelling) als functie van de tijd, die de beweging of de positie van een systeem beschrijft waarbij de grootte afwisselend groter en kleiner is dan een gemiddelde waarde.

Trillingssterkte (Engels: vibration severity): in het algemeen de aanduiding van de sterkte of grootte van de trilling in relatie tot het van belang zijnde trillingseffect. In het geval van hinder wordt onder de trillingssterkte verstaan de effectieve waarde van de gewogen trillingsgrootte.

Trillingstijd: de kleinste verschuiving in de tijd waarbij een periodieke tijdsfunctie met zichzelf samenvalt.

Topwaarde: de in absolute zin grootste afwijking van een grootte ten opzichte van de gemiddelde waarde gedurende een zeker tijdsinterval.

Verplaatsing: een vectoriële grootte die de verandering van een positie van een lichaam of van een punt aanduidt ten opzichte van een zekere referentie.

Versnelling: een vectoriële grootte die de tijdsafgeleide van de snelheid weergeeft

5 Eenheden en grootheden

5.1 Eenheden

De te gebruiken eenheden en grootheden moeten in overeenstemming zijn met het Internationale Stelsel van Eenheden (SI), zoals vermeld in hoofdstuk 4 (tabel 6, 8 en 9) en bijlage A, beiden van NEN 999:1977, en met NEN 1000:1986.

5.2 Grootheden

In het kader van deze meet- en beoordelingsrichtlijn worden bij voorkeur de hieronder gegeven eenheden aangehouden.

a	versnelling, in m/s^2
f	frequentie, in Hz
f_e	eigenfrequentie, in Hz
g	zwaartekrachtversnelling ($9,81 \text{ m/s}^2$)
T	trillingstijd, in s
u	verplaatsing, in mm
v	snelheid, in mm/s

5.3 Gehanteerde symbolen

De verder in deze richtlijn gehanteerde symbolen zijn hieronder weergegeven.

A_1	streefwaarde voor de trillingssterkte V_{\max} , dimensieloos
A_2	maximale waarde voor de trillingssterkte V_{\max} , dimensieloos
A_3	streefwaarde voor de trillingssterkte V_{per} , dimensieloos
f	frequentie, in Hz
f^*	frequentie in Hz, waarvoor $\varphi(f) = 0$
f_{\max}	grensfrequentie van het laagdoorlaatfilter, in Hz
f_{\min}	grensfrequentie van het hoogdoorlaatfilter, in Hz
f_0	kantelfrequentie van het wegingsfilter, $f_0 = 5,6 \text{ Hz}$
$H_a(f)$	wegingsfunctie trillingsversnelling, s^2/m
$H_v(f)$	wegingsfunctie trillingssnelheid, s/mm
i	variabele die het interval van 30 seconden aangeeft waarin $v_{\text{eff,max,30,i}}$ is gemeten

N	aantal aaneensluitende tijdsintervallen van 30 seconden in een beoordelingsperiode; voor de dagperiode van 07.00 tot 19.00 uur, $N = 1440$ voor de dagperiode van 07.00 tot 19.00 uur, $N = 1440$ voor de avondperiode van 19.00 tot 23.00 uur, $N = 480$ voor de nachtperiode van 23.00 tot 07.00 uur, $N = 960$
n	aantal gehele tijdsintervallen van 30 seconden binnen de duur van een meting
t	tijd, in s
T_b	totale tijdsduur dat een trillingsbron in bedrijf is in een beoordelingsperiode, in s
T_m	tijdsduur van de meting, in s
T_0	tijdsduur van de beoordelingsperiode, in s
τ	tijdconstante, in s
V_{\max}	grootste waarde van $v_{\text{eff,max}}$ in de beschouwde ruimte, dimensieloos
V_{per}	trillingssterkte over de beoordelingsperiode behorende bij de ruimte, dimensieloos en bepaald op basis van de kwadratisch gemiddelde effectieve waarde van de maxima $v_{\text{eff,max,30,i}}$. Deze waarde dient uitsluitend te worden bepaald voor het meetpunt en de meetrichting waarin de grootste waarde V_{\max} voor de ruimte volgens 9.7 is bepaald.
$v(t)$	momentane waarde van de gewogen trillingsgrootte, dimensieloos
$v_{\text{eff}}(t)$	voortschrijdende effectieve waarde van de gewogen momentane trillingsgrootte, dimensieloos
$v_{\text{eff,max}}$	de grootste waarde van $v_{\text{eff}}(t)$ over de meetduur, dimensieloos
$v_{\text{eff,max,30,i}}$	de grootste waarde van $v_{\text{eff}}(t)$ in een tijdsinterval van 30 seconden, dimensieloos
$v_{\text{eff,max,stat}}$	de statistisch bepaalde grootste waarde van $v_{\text{eff}}(t)$ over de meetduur, dimensieloos
v_0	referentiewaarde van de wegingsfunctie, $v_0 = 1,0 \text{ mm/s}$
$v_{\text{per,meet}}$	de kwadratisch gemiddelde effectieve waarde van $v_{\text{eff,max,30,i}}$ over de meetperiode
$\varphi(f)$	maximale referentie fase-frequentie karakteristiek voor het meetsysteem, in graden
$\varphi_m(f)$	de fase-frequentiekarakteristiek van het meetsysteem, in graden

BIJLAGE 4: TEKENINGEN

Terreininrichting



SCHETSONTWERP
11-04-2022



NIEUWBOUW LOCATIE WESEPERSTRAAT DEVENTER
BEGANEGROUND

schaal 1:200



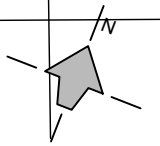
SCHETSONTWERP
11-04-2022



NIEUWBOUW LOCATIE WESEPERSTRAAT DEVENTER
BEGANEGROND
schaal 1:200



WESEPERSTRAAT



SCHETSONTWERP
11-04-2022

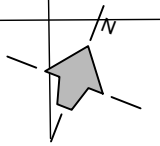


NIEUWBOUW LOCATIE
EERSTE VERDIEPING
schaal 1:200

WESEPERSTRAAT DEVENTER



WESEPERSTRAAT

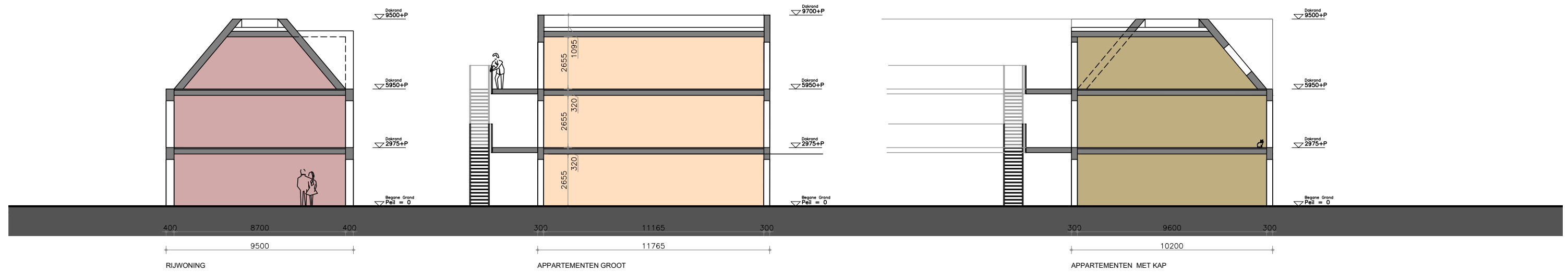


SCHETSONTWERP
11-04-2022



NIEUWBOUW LOCATIE
TWEDE VERDIEPING
schaal 1:200

WESEPERSTRAAT DEVENTER



C O N C E P T O P Z E T D O O R S N E D E N
 N I E U W B O U W L O C A T I E W E S E P E R S T R A A T D E V E N T E R

schaal 1:200

SCHETSONTWERP





NIEUW





NIEUW





NIEUW





NIEUW





NIEUW





NIEUW





NIEUW





NIEUW





NIEUW





NIEUW





NIEUW





NIEUW

