



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 2006006608-20201434h-1

2 december 2020

TRILLINGSONDERZOEK

Bestemmingsplan "Cuijk, Valuwe, Mgr. Zwijssenstraat";
Bepaling kans op hinder t.g.v. railverkeer
in nieuwbouw woningen

AKOESTIEK

TRILLINGEN

MILIEU- VERGUNNINGEN

LUCHTONDERZOEK

Opdrachtgever
Buro SRO Oost B.V.
Sweerts de Landasstraat 50
6814 DG Arnhem

Adviseur
Fabio Calissi, M.Sc.
Ad (Arie) Vreeswijk, M.Sc. INCE

BEZWAAR EN BEROEP

Namens dezen
T.a.v. Luuk Arends, M.Sc.

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.....	5
3.3. Overdrachtsprognoses van de trillingen door de bodem.....	6
3.4 Overdrachtsprognoses betreffende gebouwen.....	7
4. RESULTATEN TRILLINGSHINDER EN PROGNOSE	9
4.1. Meetresultaten.....	9
4.2. Berekening resultaten; overdracht in de bodem met Barkan formule	11
4.3. Prognose resultaten; overdracht van bodem naar vloer	12
4.4. Toetsing trillingsimmissie; prognose	12
4.5. Bespreking van de resultaten, hinder	13
5. MOGELIJKE MAATREGELEN.....	14
6. CONCLUSIE.....	16

BIJLAGEN:

1. MEETRESULTATEN
2. BEREKENINGSBLADEN
3. TERMEN EN DEFINITIES VAN SBR-B
4. GEGEVENS SPOORVERKEER

1. INLEIDING

1.1. Algemeen

In opdracht van Buro SRO Oost B.V. is door AV Consulting B.V. Raadgevende Ingenieurs een trillingsonderzoek uitgevoerd ter plaatse van het bestemmingsplan "Cuijk, Valuwe, Mgr. Zwijssenstraat". Het bestemmingsplan voorziet o.a. in trillingsgevoelige ruimten door de bouw van maximaal 24 woningen op verschillende afstand van het spoor.

Doel van het onderzoek is het prognosticeren van de trillingsniveaus in de panden ten gevolge van het treinverkeer op de spoorlijn Nijmegen - Venlo.

ProRail adviseert indicatief 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.

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) Rapport M.2019.0471.00.R001, "Trillingsonderzoek spooronderdoorgang N226, Maarsbergen" d.d. 2 oktober 2019.
- 5) Publicatie nr. 9/1995 "Rekenmodel voor de bepaling van trillingssterkte" van de Ministerie van Volkshuisvesting.
- 6) Ontwerp van het bestemmingsplan "Cuijk, Valuwe, Mgr. Zwijssenstraat" door opgave van de opdrachtgever.
- 7) Bodemonderzoek "b_NL.IMRO.1684.BPCuMgrZwijssenstr-ON01_tb3" uitgevoerd van OrtaGeo Ingenieurs, te vinden in de bijlage van het bestemmingsplan.
- 8) Bijlage IV behorende bij hoofdstuk 4 van het "Reken- en Meetvoorschrift Geluid 2012".
- 9) Gegevens van het spoorverkeer uit het geluidregister spoor.

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 :

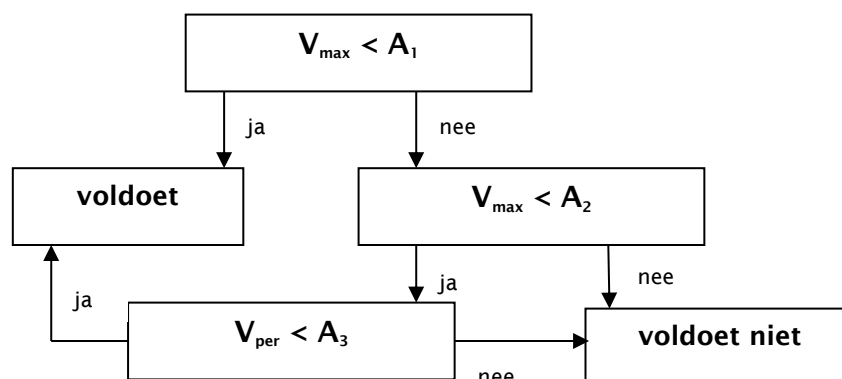
1. A_1 is de onderste streefwaarde voor de trillingssterkte $V_{\max}$;
2. A_2 is de bovenste streefwaarde voor de trillingssterkte $V_{\max}$;
3. A_3 is de streefwaarde voor de trillingssterkte V_{per} .

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		
	A1 [-]	A2 [-]	A3 [-]	A1 [-]	A2 [-]	A3 [-]
Wonen/Gezondheidszorg (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 4 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 het geluidregister spoor blijkt dat op dit traject het spoorverkeer bestaat uit reizigerstreinen (namelijk sprinters, categorie 6 en 8 volgens het RMG 2012) en goederentreinen (cat. 4). Aanvullende informatie over het spoorverkeer is in bijlage 4 te vinden. Op de website van de Nederlandse Spoorwegen is te vinden dat de sprinters tussen ongeveer 05.30 uur 's ochtends tot ca. 01.00 uur 's nachts de locatie passeren.

In figuur 1 is de nieuwe situatie weergegeven.



Figuur 1: overzicht van de toekomstige situatie uit het bestemmingsplan.

Het plangebied betreft 10 grondgebonden woningen (oranje in figuur 1) en één appartementsgebouw met maximaal 14 woningen (paars in figuur 1).

De afstand tussen de gebouwen en de spoorbaan is als volgt:

- ca. 40 meter tussen de spoorbaan en de woningen aan de westelijke kant van het gebied;
- ca. 45 meter tussen de spoorbaan en het appartementsgebouw;
- ca. 75 meter tussen de spoorbaan en de woningen aan de oostelijke kant van het gebied.

Het funderingssysteem en de vloertypen van de woningen zijn in de onderwerpelijke situatie nog niet bekend. In de berekeningen wordt uitgegaan – als worst-case scenario – van “lichte gebouwen gefundeerd op staal”, en van vloervelden met kleine overspanning.

3.2. Trillingsmetingen

Onbemande trillingsmetingen zijn uitgevoerd op de dichtstbijzijnde westelijke grens van het terrein met twee tri-axiale trillingsopnemers welke gemonteerd zijn op 1 meter lange metalen staven die in de grond zijn gedreven. Dit is een beproefde methode om laagfrequente trillingen in de bodem te kunnen meten.

Tijdens de metingen stond het terrein leeg, het voormalige pand aan de Karel Doormanstraat 2 was net gesloopt.

De meetposities liggen op een denkbeeldige lijn loodrecht uit het spoor, op een afstand van de spoorbaan van ca. 25 meter (meetpositie 1) en van ca. 30 meter (meetpositie 2).

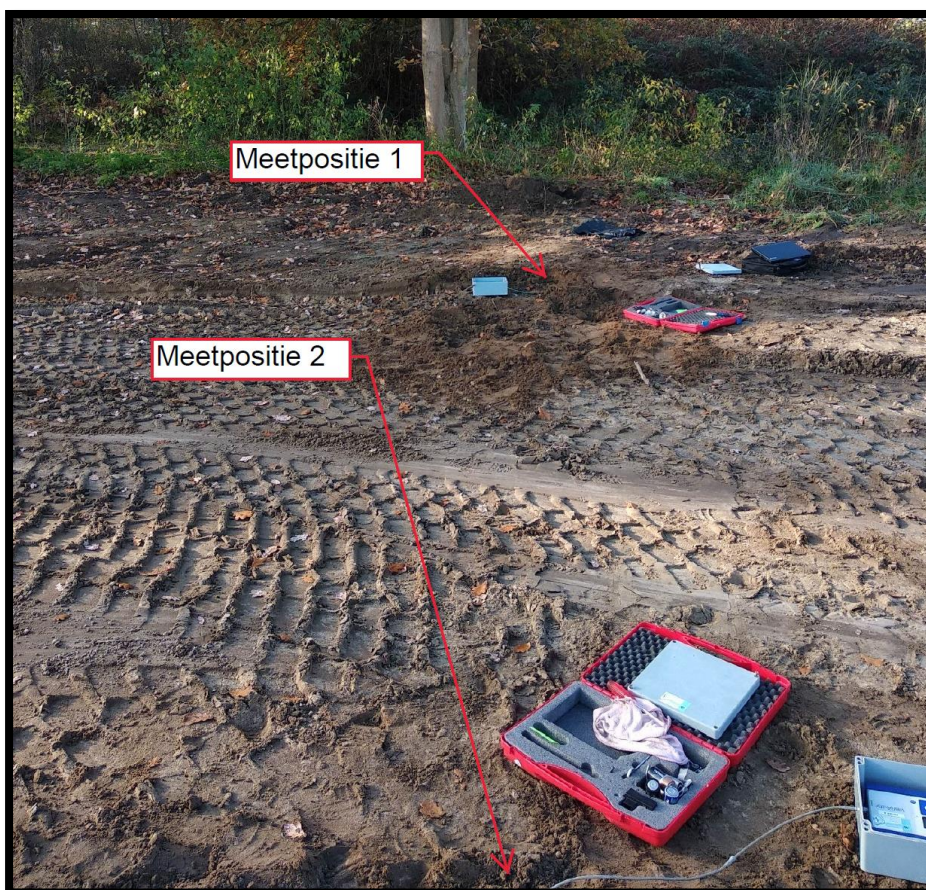
Op basis van de meetresultaten zijn de trillingsniveaus met hulp van de empirische formule van Barkan op de volgende posities berekend:

- op een afstand van ca. 40 meter van de spoorbaan;
- op een afstand van ca. 45 meter van de spoorbaan;
- op een afstand van ca. 75 meter van de spoorbaan.

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 2 zijn de ondergrondse meetposities weergegeven.



Figuur 2: foto van de meetposities op het terrein.

In 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 23 november 2020 in de ochtend t/m de ochtend van maandag 30 november 2020. Op de meetlocatie zijn in drie richtingen (één verticaal en twee horizontaal) de optredende trillingen geregistreerd. De z-richting is verticaal, de x-richting loopt parallel aan de spoorbanen. Bij de metingen is gebruik gemaakt 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
Trillingsanalyzer	Profound	Vibra SBR +
3-D geofoon	Profound	Vibra SBR +

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 damping - 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 damping 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 bodemonderzoek dat in de bijlagen van het bestemmingsplan is opgenomen blijkt dat op de locatie de bodem zandachtig is. Daarom is voor de prognoseberekening de materiaaldamping - α in de formule - bepaald op $\alpha = 0,01$ [1/m] voor de lage frequenties en $\alpha = 0,06$ [1/m] voor de hoge frequenties.

De overdracht van de trillingen in de bodem vanaf meetpositie 1 tot meetpositie 2 komt overeen met de gemeten waarden in situ.

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 meetpositie 2 opgetreden trillingen met betrekking tot het spoorverkeer een dominante frequenties hebben van globaal 8 Hz in de z-richting en globaal 40 Hz in de x- en y-richting; zie bijlage 1. Deze frequenties komen overeen met de bekende spectra van trillingen afkomstig van goederentreinenverkeer, uit de literatuur en uit onze meetervaring.

Fundering en gebouwconstructie

Bij de overgang van bodem naar gebouwfunctie 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 het gebouwtype voor de nieuwbouw als "licht gebouw (op staal)" beschouwd. Bij de dominante frequenties van ca. 8 Hz is de verzwakking nul. Bij de dominante frequenties van ca. 40 Hz is de verzwakking ca. 3 dB.

Voor de onderwerpelijke situatie is een verzwakking op de gemeten trillingsniveaus in de x- en y-richting van 3 dB toegepast; dit bedraagt een factor van ca. 0,7 ($H_{f,xy}$ 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 damping 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 de gemiddelde 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 kleine overspanning is bij ca. 8 HZ een versterking van ca. 8 dB en bij ca. 40 Hz een versterking van ca. 7 dB.

Voor onderwerpelijke situatie is een verzwakking in de z-richting van 8 dB en in de x- en y-richting van 7 dB toegepast; deze bedragen respectievelijk een factor van ca. 2,5 ($H_{v,z}$ in de berekeningen) en van ca. 2,25 ($H_{v,xy}$ in de berekeningen).

Cumulatie overdrachtsprognose:

De cumulatieve overdrachtsfactoren zijn gegeven in tabel 6.

Tabel 6: Cumulatieve overdrachtsfactoren.

$H_{f,z}$	$H_{f,xy}$	$H_{v,z}$	$H_{v,xy}$	$H_{fv,z} = H_{f,z} * H_{v,z}$	$H_{fv,xy} = H_{f,xy} * H_{v,xy}$
1	0,7	2,5	2,25	2,5	1,6

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.

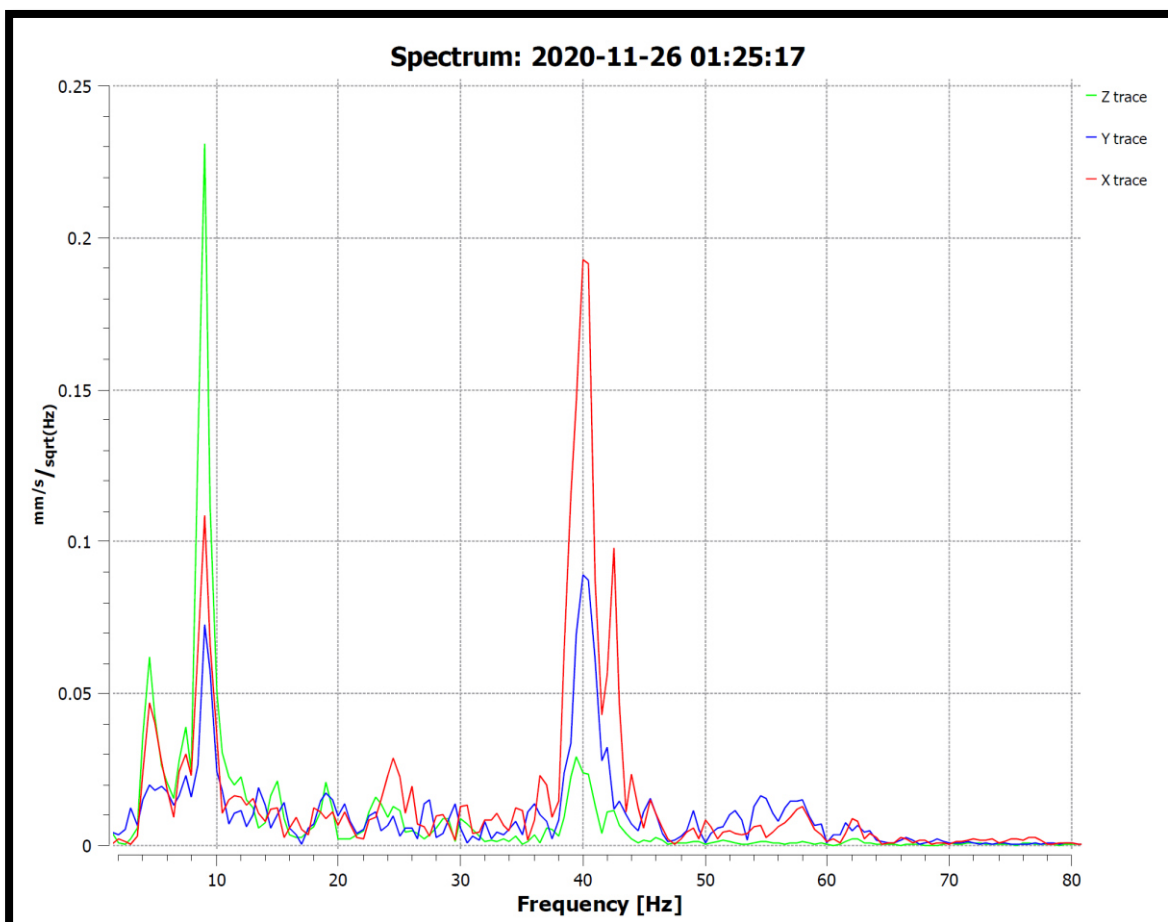
De gerapporteerde onzekerheid is gebaseerd op een standaardonzekerheid, vermenigvuldigd met een dekkingsfactor $k = 2$, welke overeenkomt met een betrouwbaarheidsinterval van ongeveer 95%.

4. RESULTATEN TRILLINGSHINDER EN PROGNOSE

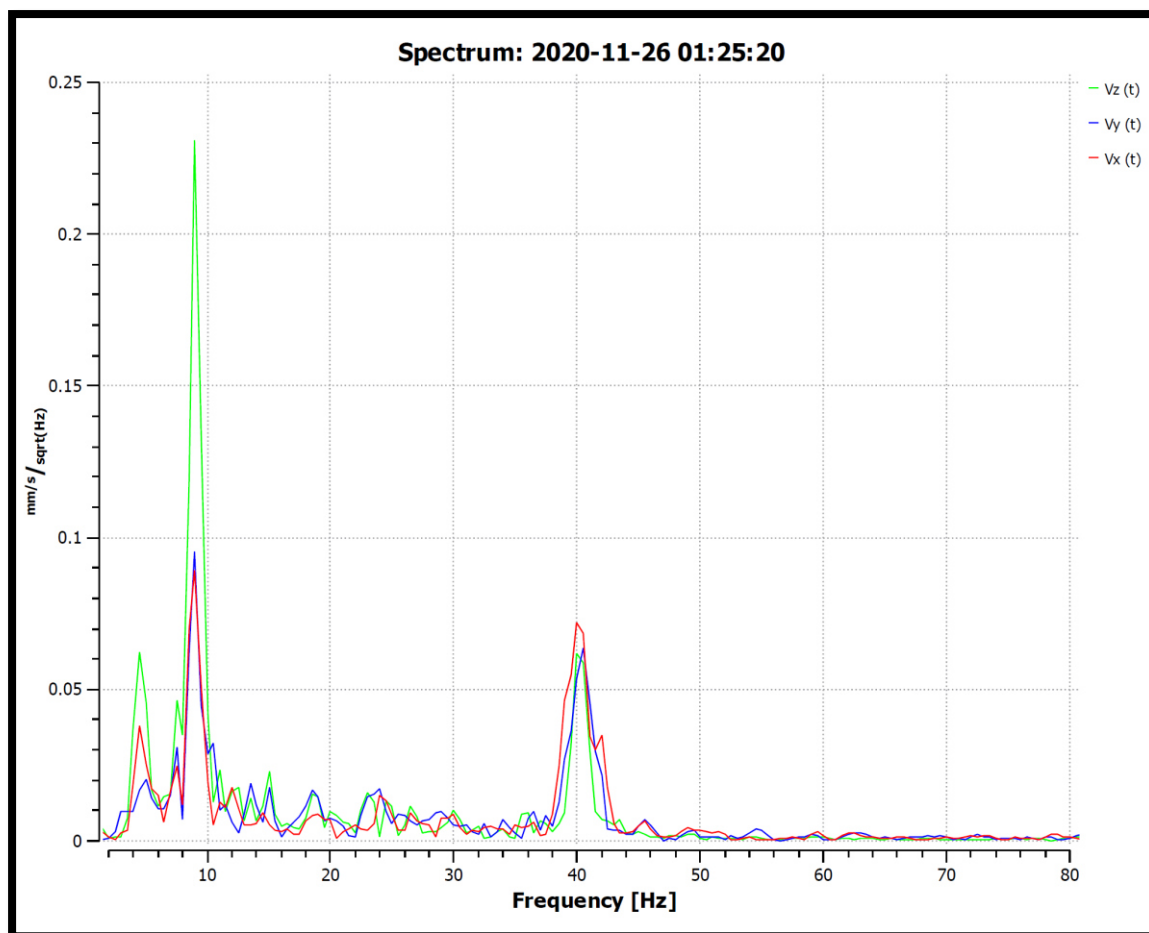
4.1. Meetresultaten

Gedurende de meetweek hebben stoortrillingen plaatsgevonden ten gevolge van de installatie en de-installatie van de instrumenten; deze zijn in de resultaten geïdentificeerd en geëlimineerd. De volledige meetgegevens op beide meetposities inclusief dominante frequenties, traces en spectra zijn in bijlage 1 opgenomen.

In figuren 3 en 4 zijn de spectra van de meest relevante trillingen (hoogste opgetreden trillingsniveaus in de nachtperiode op meetpositie 2) vanwege railverkeer weergegeven, gemeten op meetpositie 1 en 2.



Figuur 3: spectrum van het op meetpositie 1 meest relevante trillingsniveau vanwege railverkeer (goederentrein), de gemeten snelheidswaarde wordt bepaald in het tijdsdomein.



Figuur 4: spectrum van het op meetpositie 2 hoogst gemeten trillingsniveau 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 voor de dag-, avond- en nachtperiode. Zie ook bijlage 1.

Tabel 7: meetresultaten hinder; dag-, avond- en nachtperiode.

Meetpositie	Periode	Hoogst optredende meetwaarden van $V_{\text{eff,max}}$ [-]		
		z-richting	x-richting	y-richting
1 (25 meter afstand)	Dagperiode	0,12	0,25	0,24
	Avondperiode	0,1	0,1	0,34
	Nachtperiode	0,25	0,38	0,32
2 (30 meter afstand)	Dagperiode	0,14	0,13	0,12
	Avondperiode	0,11	0,14	0,1
	Nachtperiode	0,24	0,18	0,16

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

Op basis van de meetresultaten op positie 2 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. In tabel 8 zijn de door de bodem berekende waarden van $V_{\text{eff,max}}$, gegeven op meetpositie 1. De volledige berekeningen zijn in bijlage 2 te vinden.

Tabel 8: Berekend trillingsniveaus in de bodem op verschillende afstand van het spoor.

Identificatie	Afstand van het spoor [m]	Periode	Hoogst berekende waarde van $V_{\text{eff,max}}$ [-], in de bodem		
			z	x	y
Woningen ten westen	40	Dagperiode	0,10	0,06	0,06
		Avondperiode	0,09	0,07	0,05
		Nachtperiode	0,19	0,09	0,08
Appartementsgebouw	45	Dagperiode	0,1	0,04	0,04
		Avondperiode	0,08	0,05	0,03
		Nachtperiode	0,17	0,06	0,05
Woningen ten oosten	75	Dagperiode	0,06	0,01	0,01
		Avondperiode	0,04	0,01	0,01
		Nachtperiode	0,10	0,01	0,01

4.3. Prognose resultaten; overdracht van bodem naar vloer

In tabel 9 zijn de berekend waarden van $V_{\max}$ - gegeven op meetpositie 2 - berekend middels de overdracht functie van de bodem naar vloer berekend. De volledige berekeningen zijn in bijlage 2 te vinden.

Tabel 9: Berekend trillingsniveaus met overdracht van bodem naar vloer van de nieuwe gebouwen.

Identificatie	Afstand van het spoor [m]	Periode	Hoogst berekende waarde van $V_{\max}$ [-], op de vloer		
			z	x	y
Woningen westkant	40	Dagperiode	0,27	0,10	0,09
		Avondperiode	0,22	0,11	0,08
		Nachtperiode	0,47	0,14	0,12
Appartementsgebouw	45	Dagperiode	0,25	0,07	0,06
		Avondperiode	0,19	0,07	0,05
		Nachtperiode	0,42	0,10	0,10
Woningen oostkant	75	Dagperiode	0,14	0,01	0,01
		Avondperiode	0,11	0,01	0,01
		Nachtperiode	0,24	0,01	0,01

4.4. Toetsing trillingsimmissie; prognose

De hoogst berekende waarden voor de dag-, avond- en nachtperiode voor $V_{\max}$ in de woningen aan de westkant van het terrein zijn opgenomen in tabel 10. De toetsing voor hinder is eveneens gegeven in tabel 10.

Tabel 10: toetsing voor hinder in de woningen aan de westkant; dag-, avond- en nachtperiode.

Periode	$V_{\max}$ [-]	A_1^* [-]	Toetsing	A_2^* [-]	Toetsing
Dagperiode	0,27	0,1	<u>Voldoet niet</u>	0,4	<u>Voldoet</u>
Avondperiode	0,22	0,1	<u>Voldoet niet</u>	0,4	<u>Voldoet</u>
Nachtperiode	0,47	0,1	<u>Voldoet niet</u>	0,2	<u>Voldoet niet</u>

* waarden uit de SBR-richtlijn.

De hoogst berekende waarden voor de dag-, avond- en nachtperiode voor $V_{\max}$ in de appartementen zijn opgenomen in tabel 11. De toetsing voor hinder is eveneens gegeven in tabel 11.

Tabel 11: toetsing voor hinder in de appartementen; dag-, avond- en nachtperiode.

Periode	$V_{\max}$ [-]	A_1^* [-]	Toetsing	A_2^* [-]	Toetsing
Dagperiode	0,25	0,1	<u>Voldoet niet</u>	0,4	<u>Voldoet</u>
Avondperiode	0,19	0,1	<u>Voldoet niet</u>	0,4	<u>Voldoet</u>
Nachtperiode	0,42	0,1	<u>Voldoet niet</u>	0,2	<u>Voldoet niet</u>

* waarden uit de SBR-richtlijn.

De hoogst berekende waarden voor de dag-, avond- en nachtperiode voor $V_{\max}$ in de woningen aan de oostkant zijn opgenomen in tabel 12. De toetsing voor hinder is eveneens gegeven in tabel 12.

Tabel 12: toetsing voor hinder in de woningen aan de oostkant; dag-, avond- en nachtperiode.

Periode	$V_{\max}$ [-]	A_1^* [-]	Toetsing	A_2^* [-]	Toetsing
Dagperiode	0,14	0,1	<u>Voldoet niet</u>	0,4	<u>Voldoet</u>
Avondperiode	0,11	0,1	<u>Voldoet niet</u>	0,4	<u>Voldoet</u>
Nachtperiode	0,24	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 13 samengevat, inclusief toetsing aan SBR-B en hinderkwalificatie.

Tabel 13: Samenvatting van de prognoseresultaten op verschillende afstanden van de spoorbaan in de woningen.

Identificatie	Afstand tussen nieuwbouwen en spoorbaan [m]	Voldaan aan SBR-B voor woningen	Hinderkwalificatie
Woningen westkant	40	Nee, maatregelen noodzakelijk	Matige hinder
Appartementen	45	Nee, maatregelen noodzakelijk	Matige hinder
Woningen oostkant	75	Nee, maatregelen noodzakelijk	Weinig tot matige hinder

Uit de worst-case prognose-berekeningen blijkt dat niet wordt voldaan aan de streefwaarden uit de SBR-richtlijn B gedurende ten minste de nachtperiode. Uitgaande van de prognose-berekeningen is de verwachting dat in deze gebouwen weinig tot 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.

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 waarschijnlijk 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 diepte 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.

3. Mogelijke maatregelen bij de ontvanger zijn gerelateerd aan de afstand tussen bron en ontvanger en aan het funderingssysteem. In deze situatie lijkt het niet mogelijk om woningen op een voldoende grote afstand (minimaal 90 m volgens de berekeningen) 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;
- Voor het appartementsgebouw is één mogelijke optie, het uitvoeren van het gebouw 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 14 op bladzijde 15 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 14: 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: opslingering 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:

Tabel 13: Samenvatting van de prognose resultaten op verschillende afstanden van de spoorbaan in de woningen.

Identificatie	Afstand tussen nieuwbouwen en spoorbaan [m]	Voldaan aan SBR-B voor woningen	Hinderkwalificatie
Woningen westkant	40	Nee, maatregelen noodzakelijk	Matige hinder
Appartementen	45	Nee, maatregelen noodzakelijk	Matige hinder
Woningen oostkant	75	Nee, maatregelen noodzakelijk	Weinig tot matige hinder

Uit de worst-case prognose berekeningen blijkt dat niet wordt voldaan aan de streefwaarden uit de SBR-richtlijn B gedurende ten minste de nachtperiode. Het is de verwachting dat in de toekomstige nieuwbouwen matige tot weinig 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.

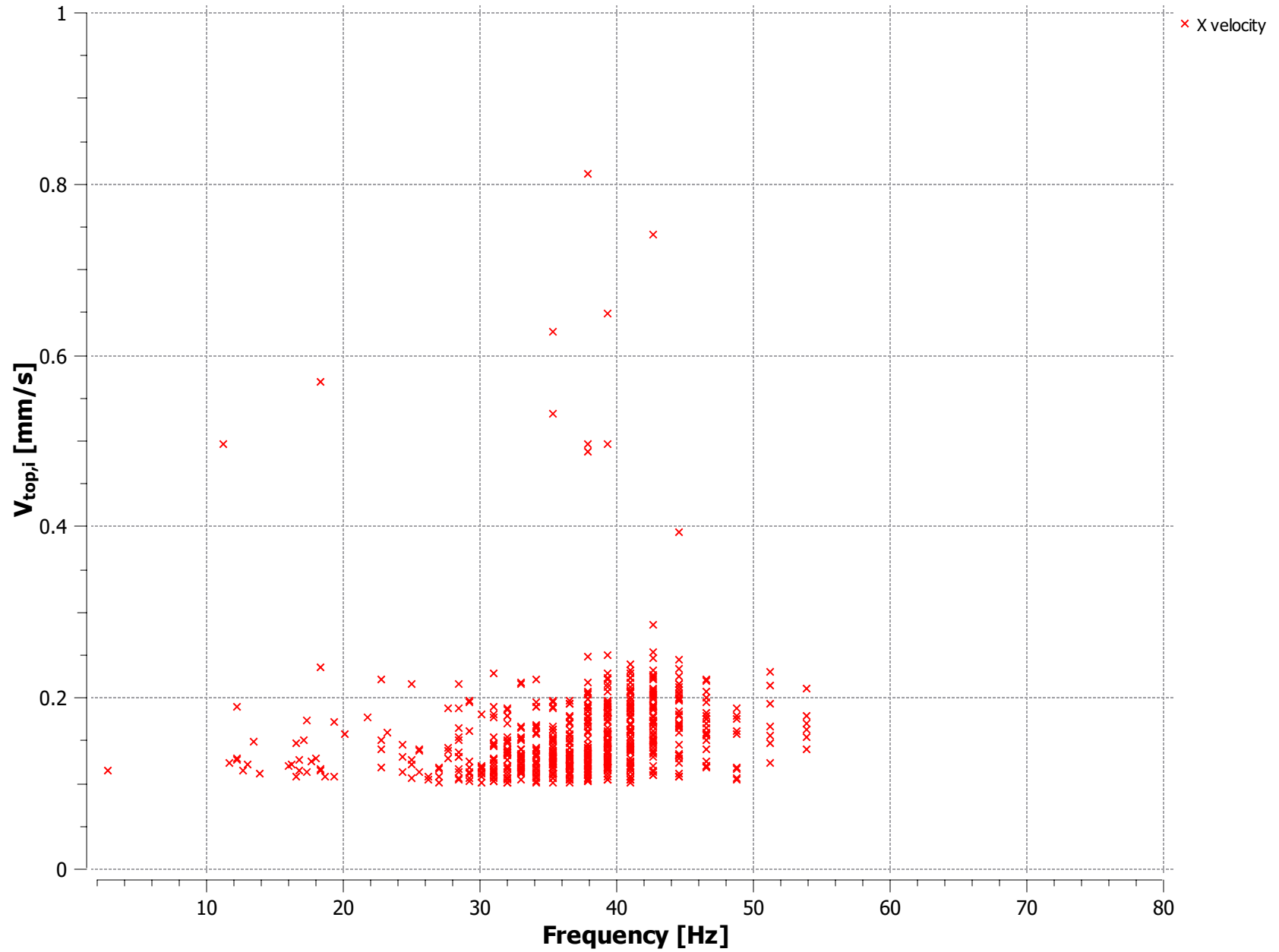
Aanvullend onderzoek is nodig om het frequentie afhankelijke dempend effect, de aard en soort en de kosten van een bepaalde maatregel te berekenen. Hierbij is echter ook de inbreng van de gemeente, planontwikkelaar en de architect noodzakelijk.

AV-CONSULTING B.V.
Raadgevende ingenieurs

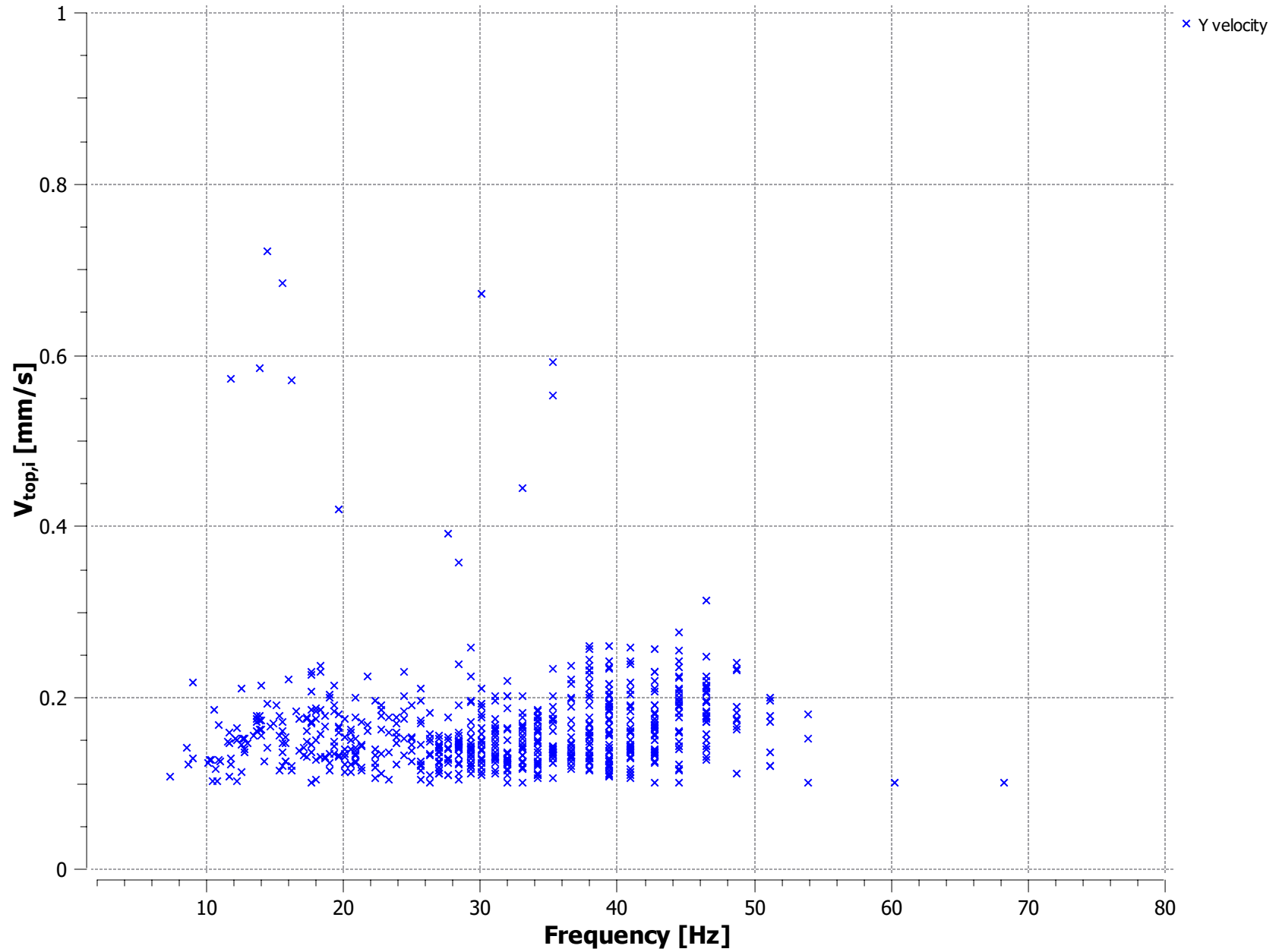
BIJLAGE 1: MEETRESULTATEN

- 1A: $V_{eff,max,30}$; V_{per} x-richting meetweek meetpositie 1
- 1B: $V_{eff,max,30}$; V_{per} y-richting meetweek meetpositie 1
- 1C: $V_{eff,max,30}$; V_{per} z-richting meetweek meetpositie 1
- 1D: $V_{eff,max,30}$; V_{per} x-richting meetweek meetpositie 2
- 1E: $V_{eff,max,30}$; V_{per} y-richting meetweek meetpositie 2
- 1F: $V_{eff,max,30}$; V_{per} z-richting meetweek meetpositie 2
- 1G: Frequentie meetpositie 1 x-richting
- 1H: Frequentie meetpositie 1 y-richting
- 1I: Frequentie meetpositie 1 z-richting
- 1J: Traces van hoogste trillingsniveaus meetpositie 1
- 1K: Spectrum van hoogste trillingsniveaus meetpositie 1
- 1L: Traces hoogste trillingsniveaus meetpositie 2
- 1M: Spectrum hoogste trillingsniveaus meetpositie 2
- 1N: $V_{eff,max,30}$ tijd van de dag meetpositie 1
- 1O: $V_{eff,max,30}$ tijd van de dag meetpositie 2

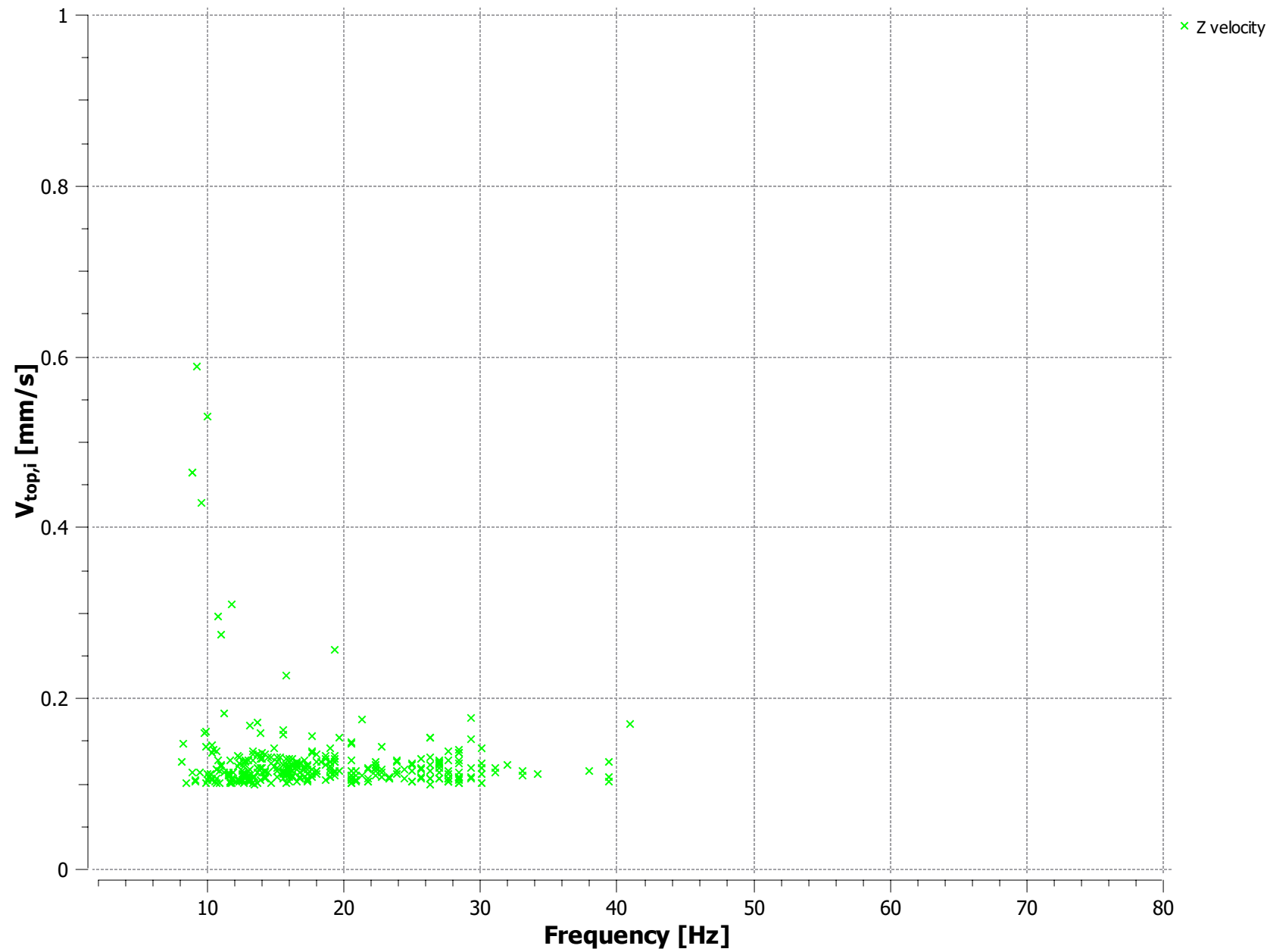
VIB00098 Cuijk 1 2020-11-23



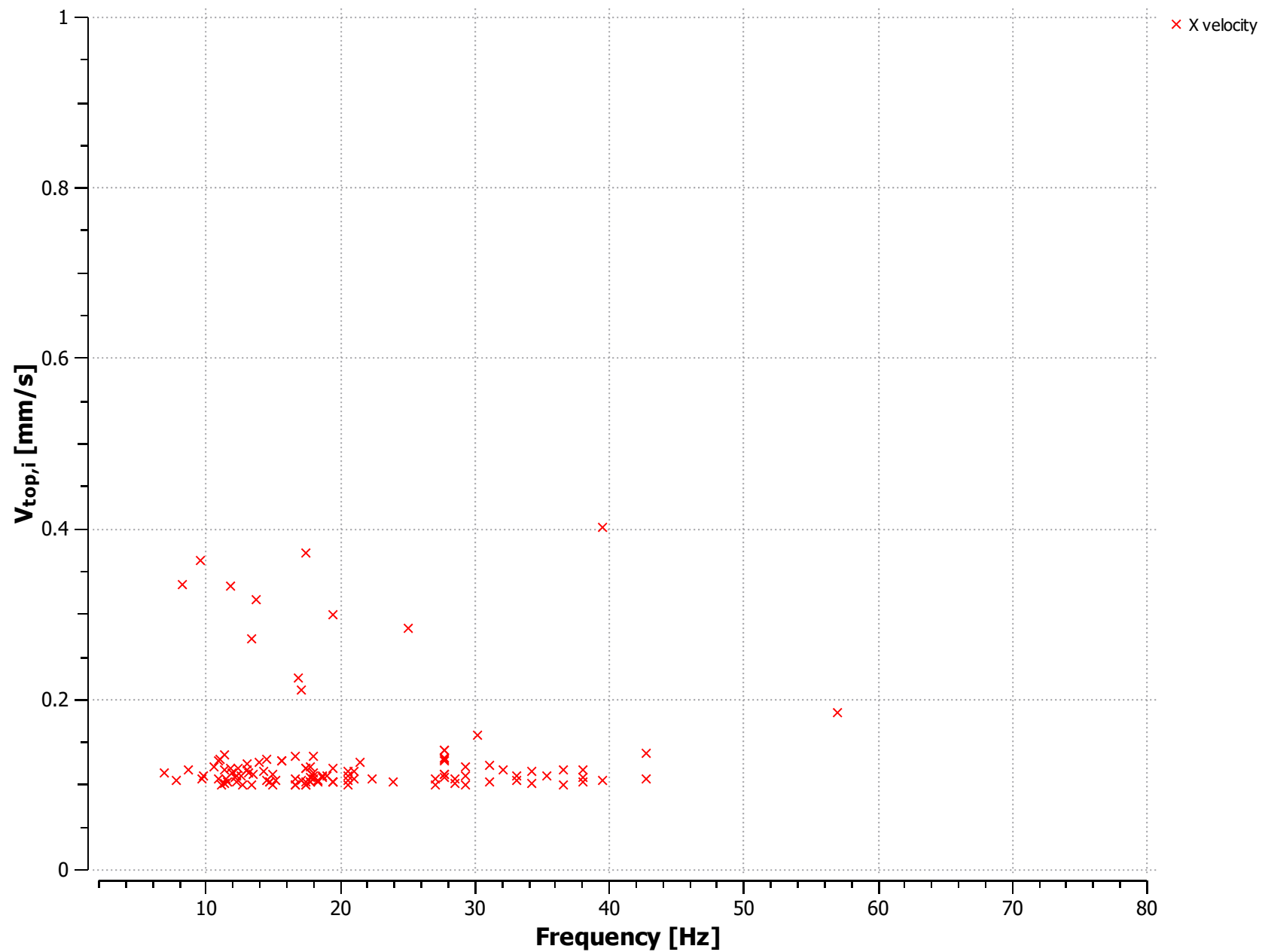
VIB00098 Cuijk 1 2020-11-23



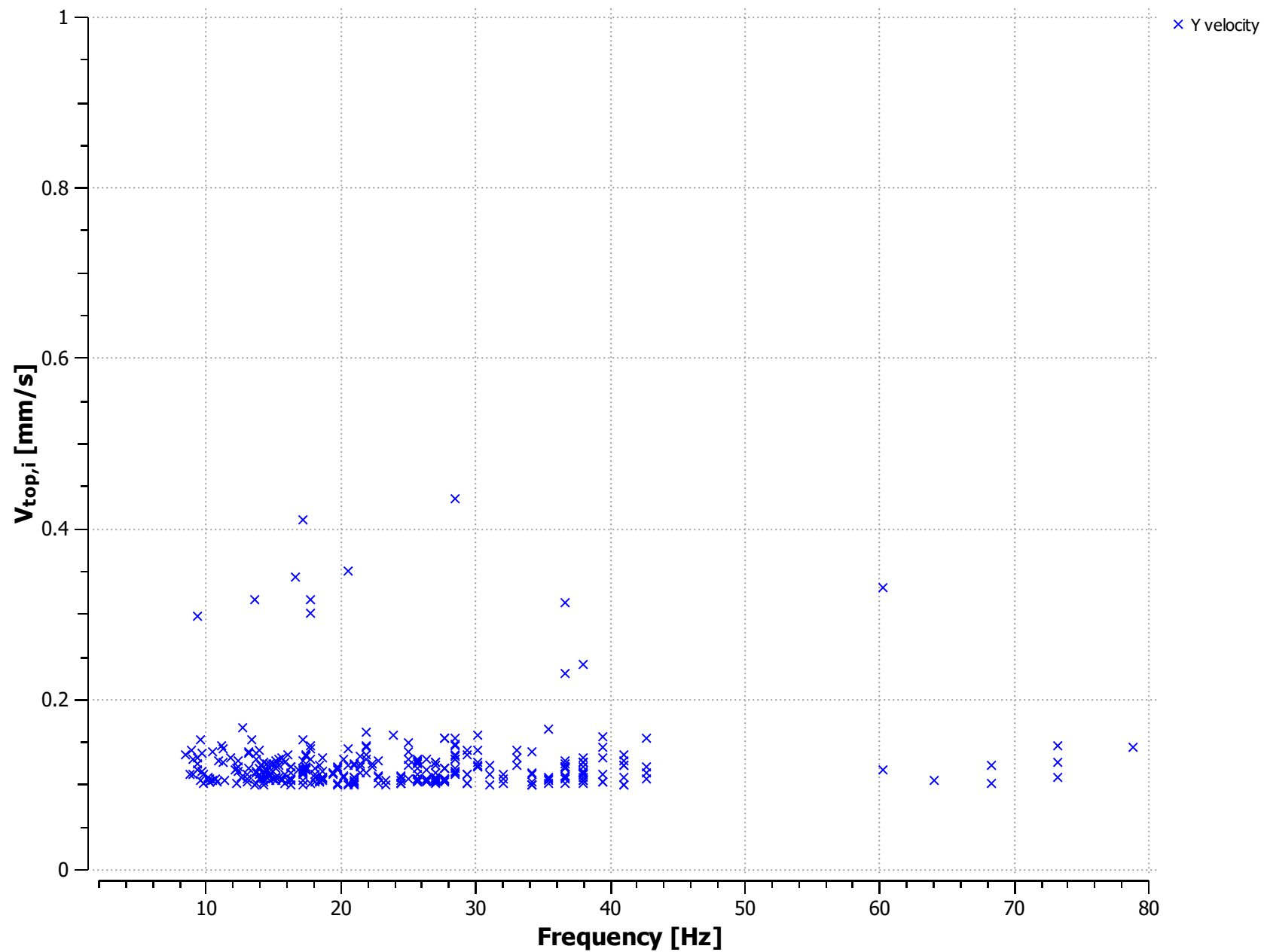
VIB00098 Cuijk 1 2020-11-23



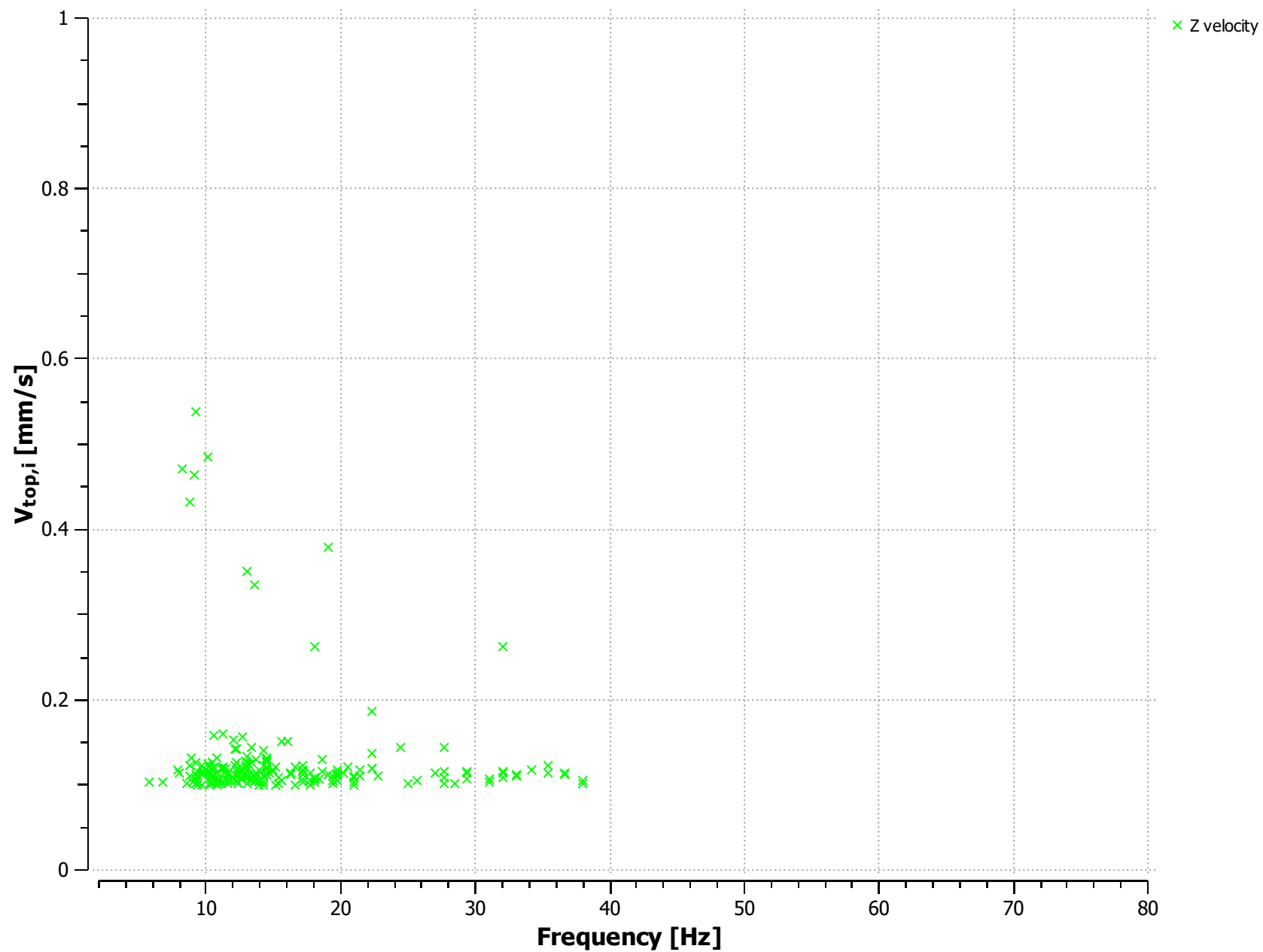
130906 Cuijk 2 2020-11-23



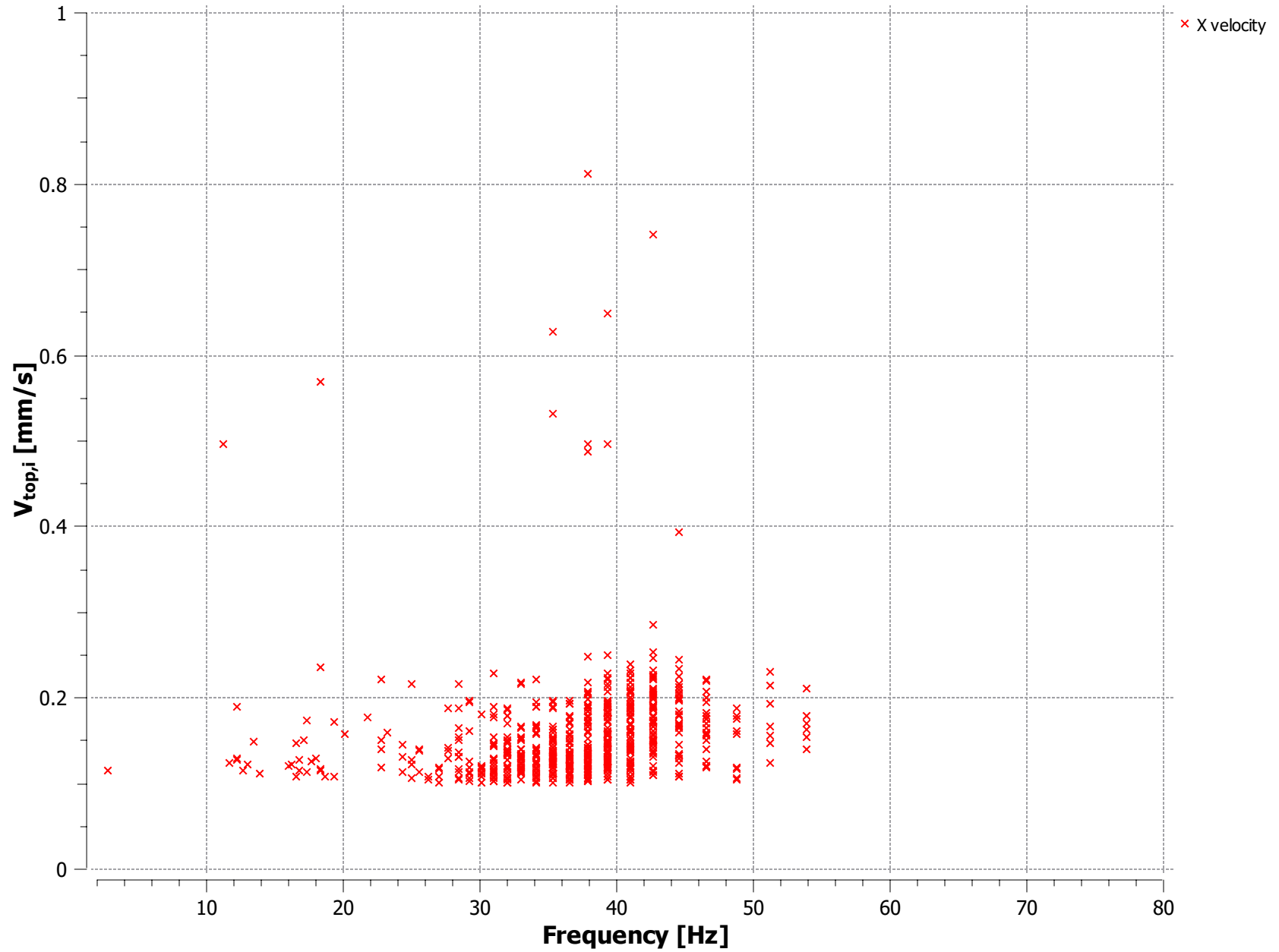
130906 Cuijk 2 2020-11-23



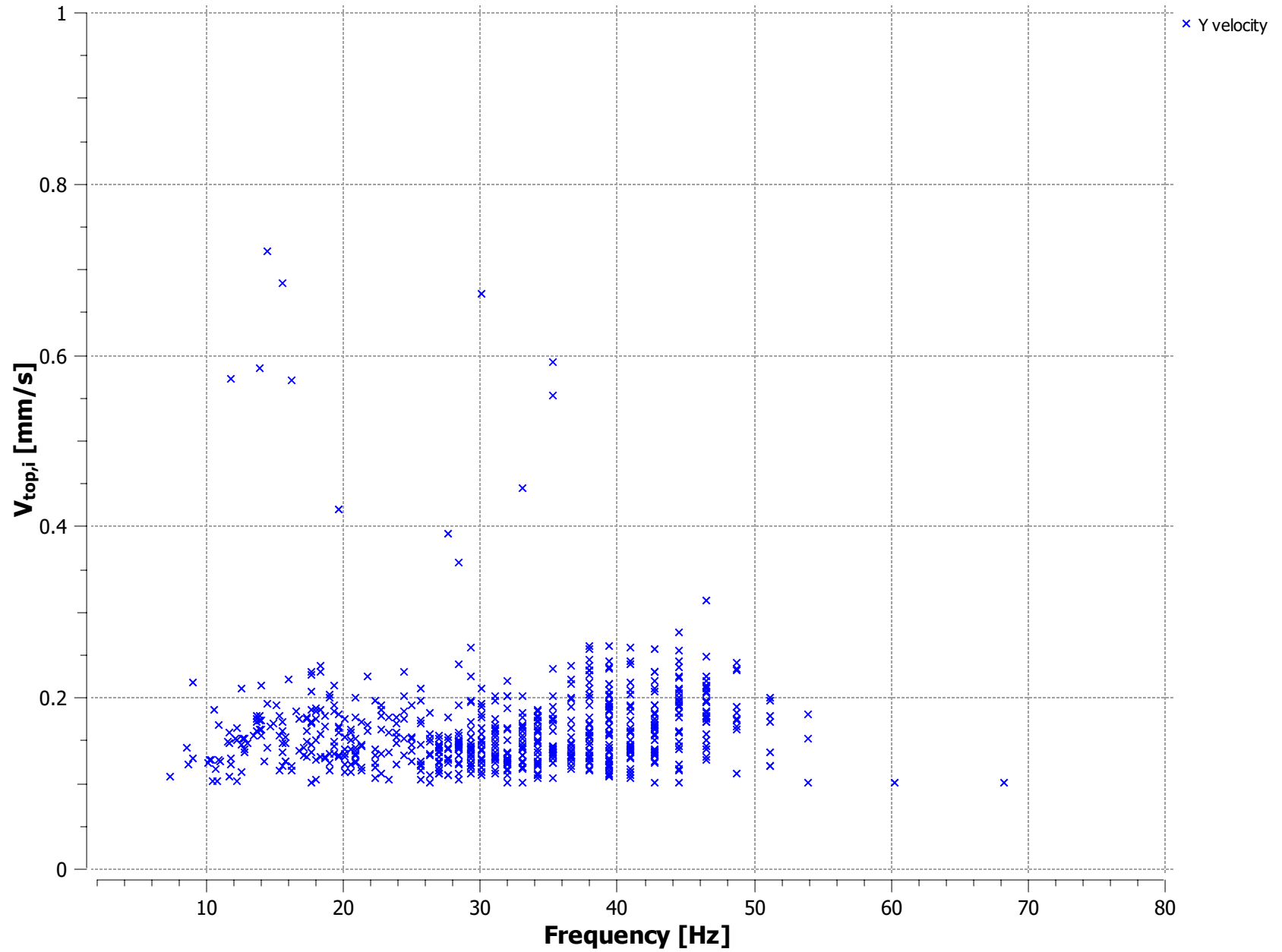
130906 Cuijk 2 2020-11-23



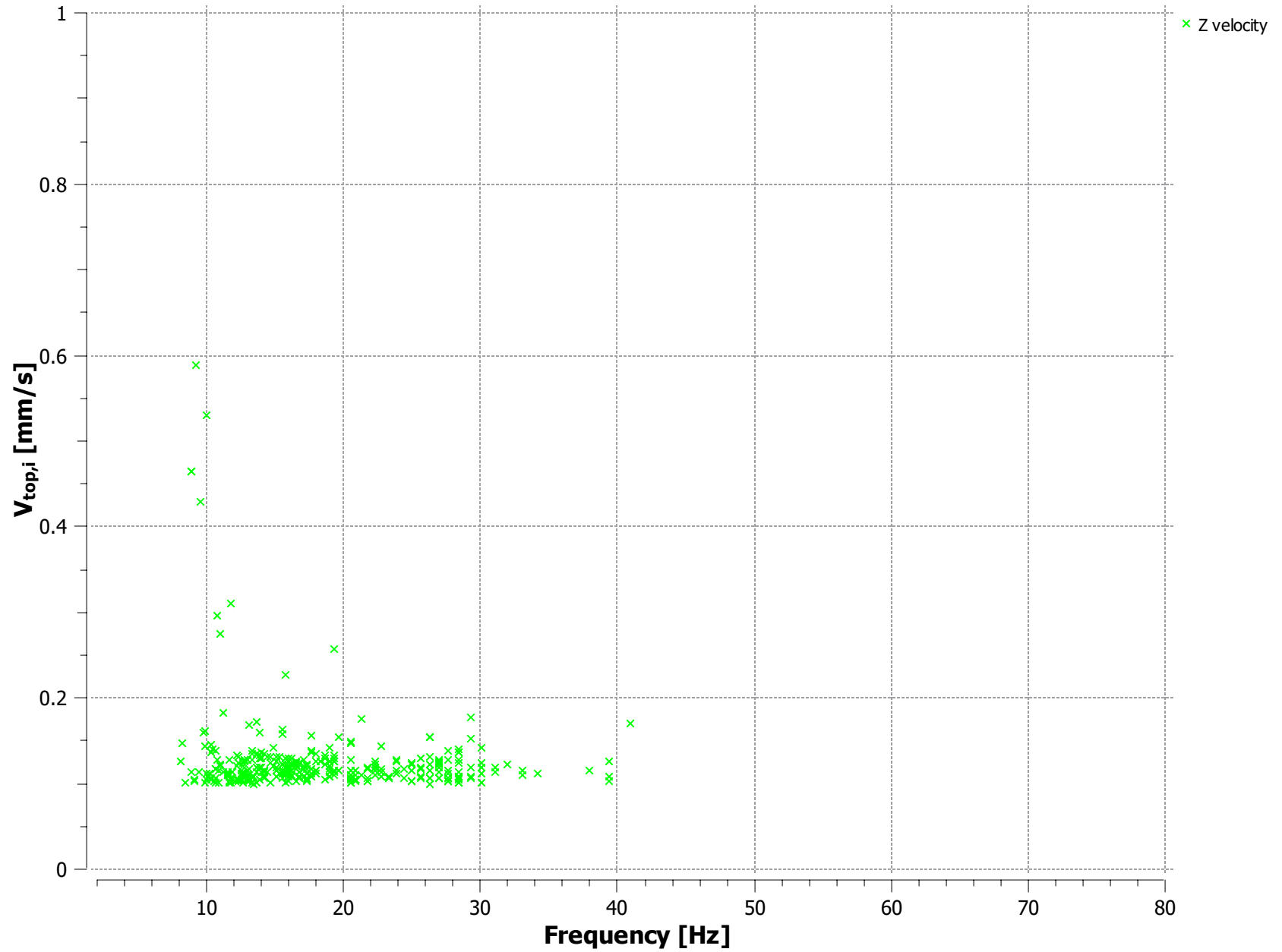
VIB00098 Cuijk 1 2020-11-23



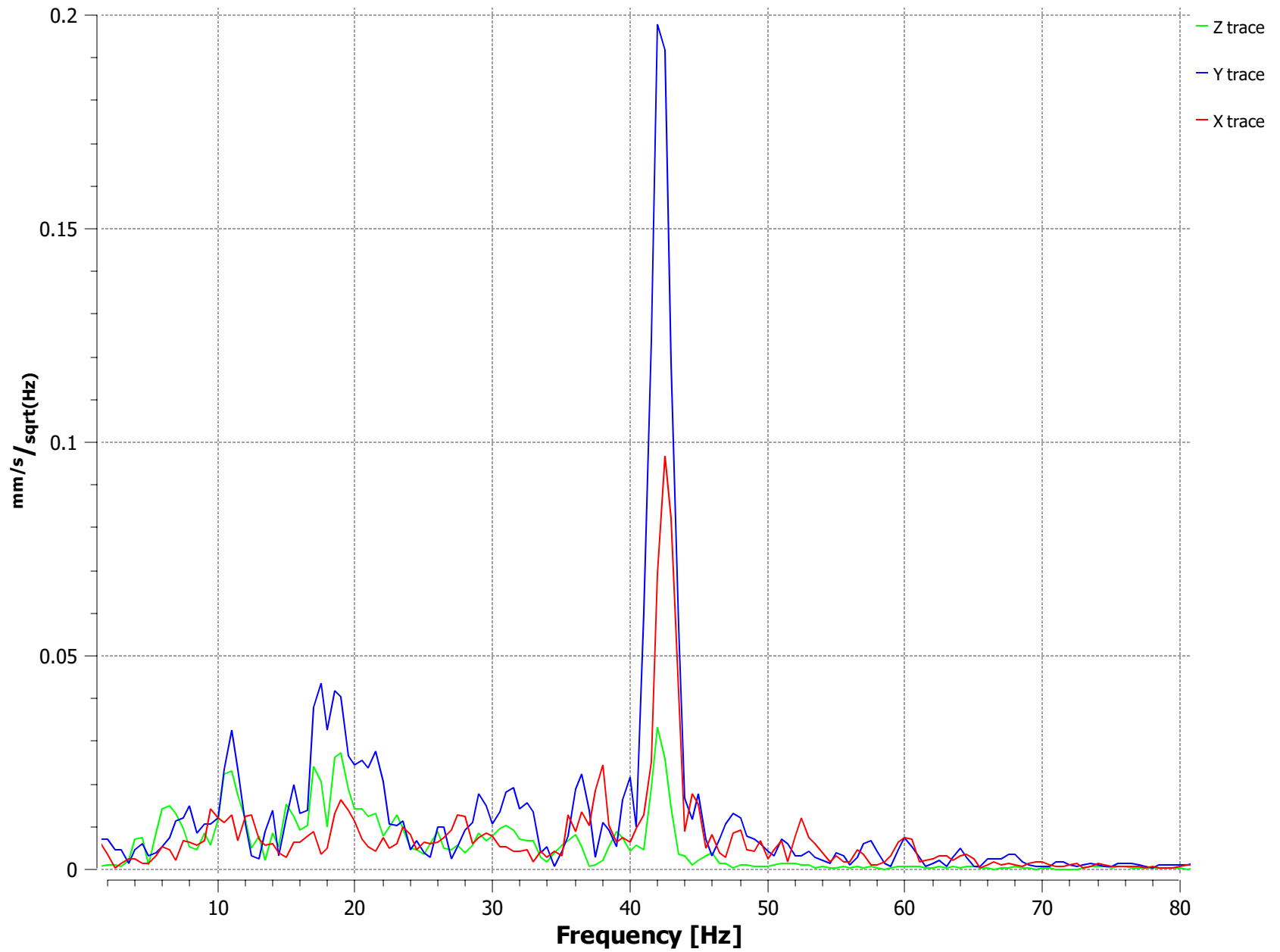
VIB00098 Cuijk 1 2020-11-23



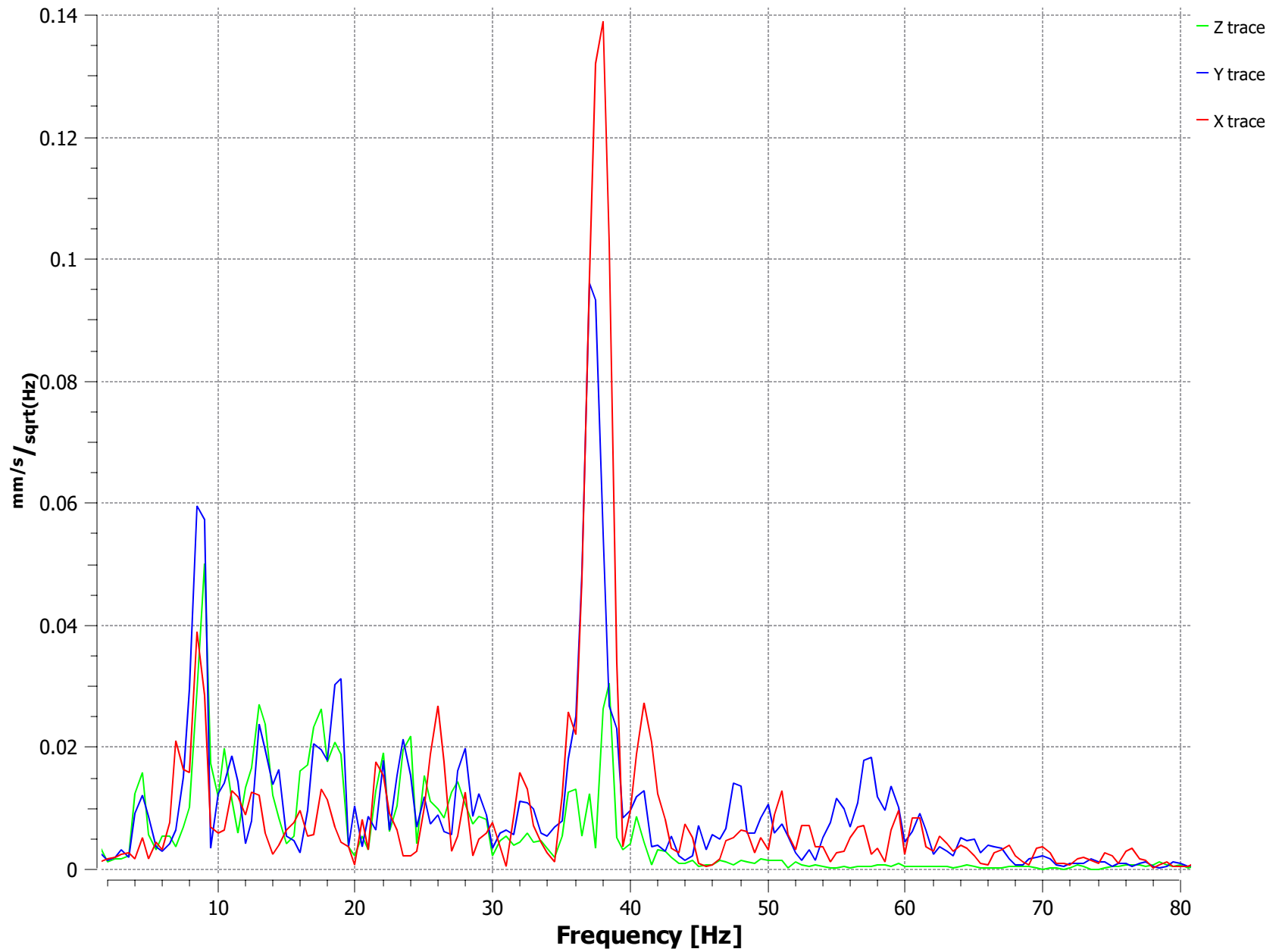
VIB00098 Cuijk 1 2020-11-23



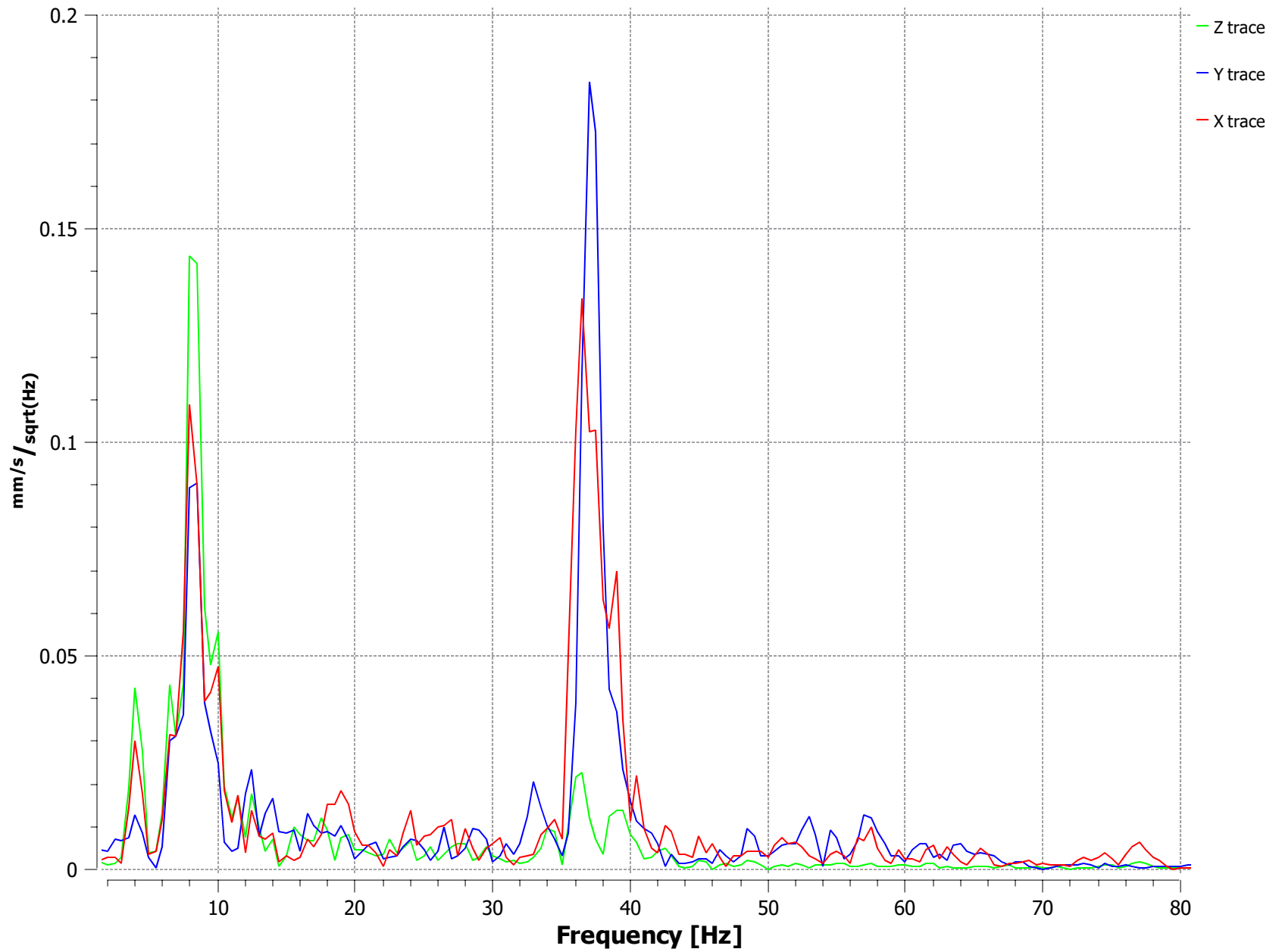
Spectrum: 2020-11-26 20:10:48



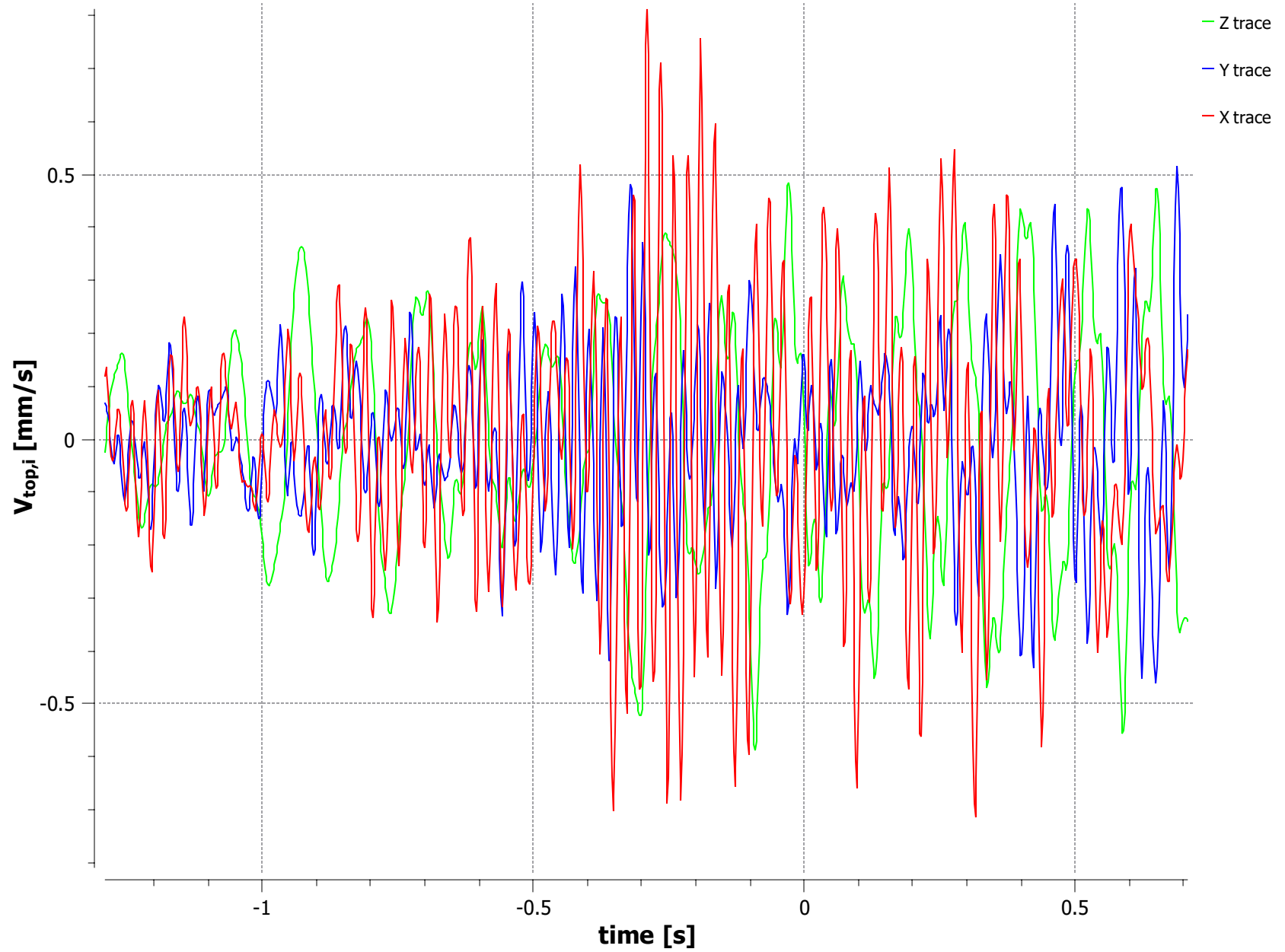
Spectrum: 2020-11-28 08:32:02



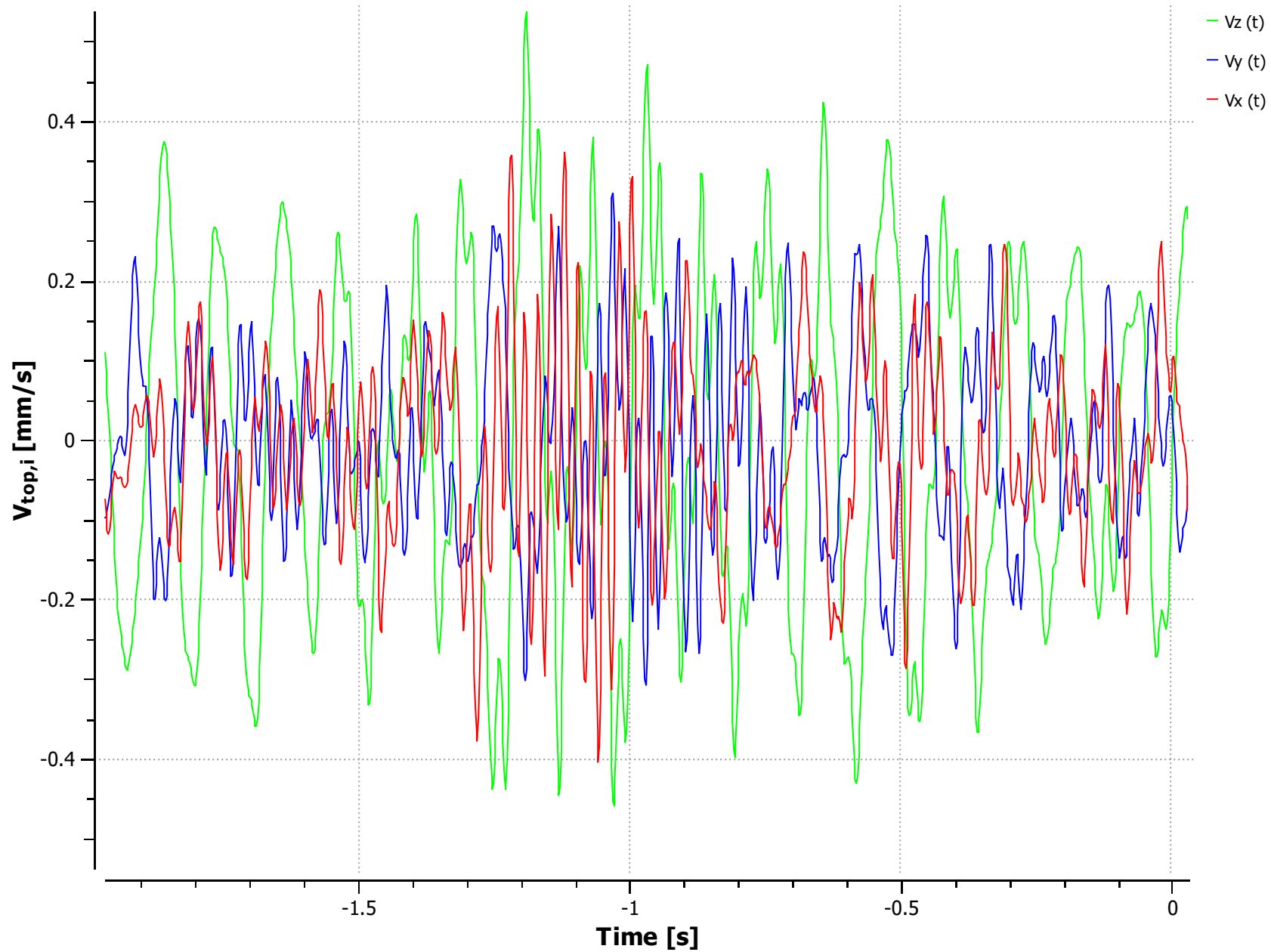
Spectrum: 2020-11-28 01:25:25



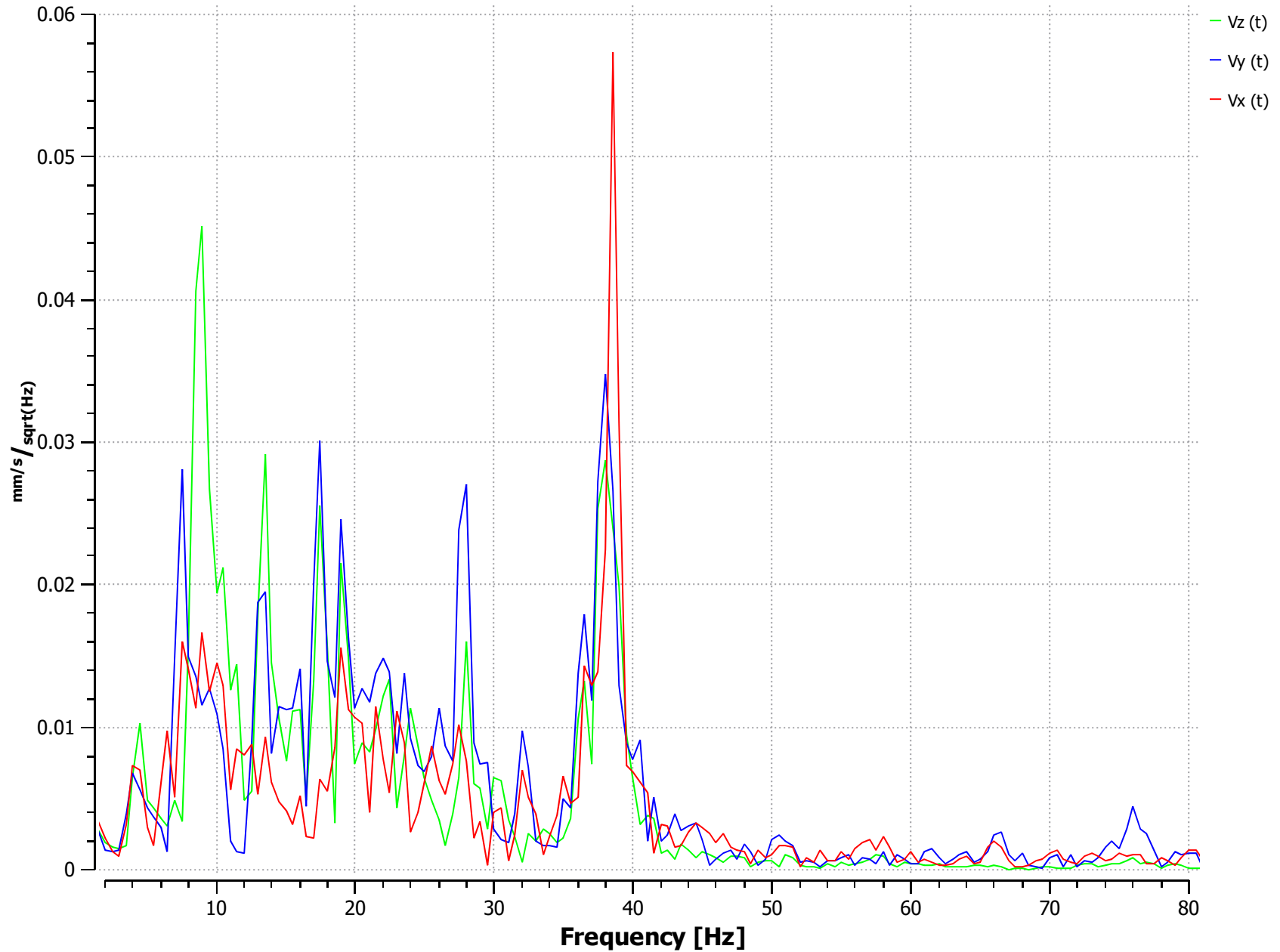
Velocity Trace: 2020-11-26 01:25:17



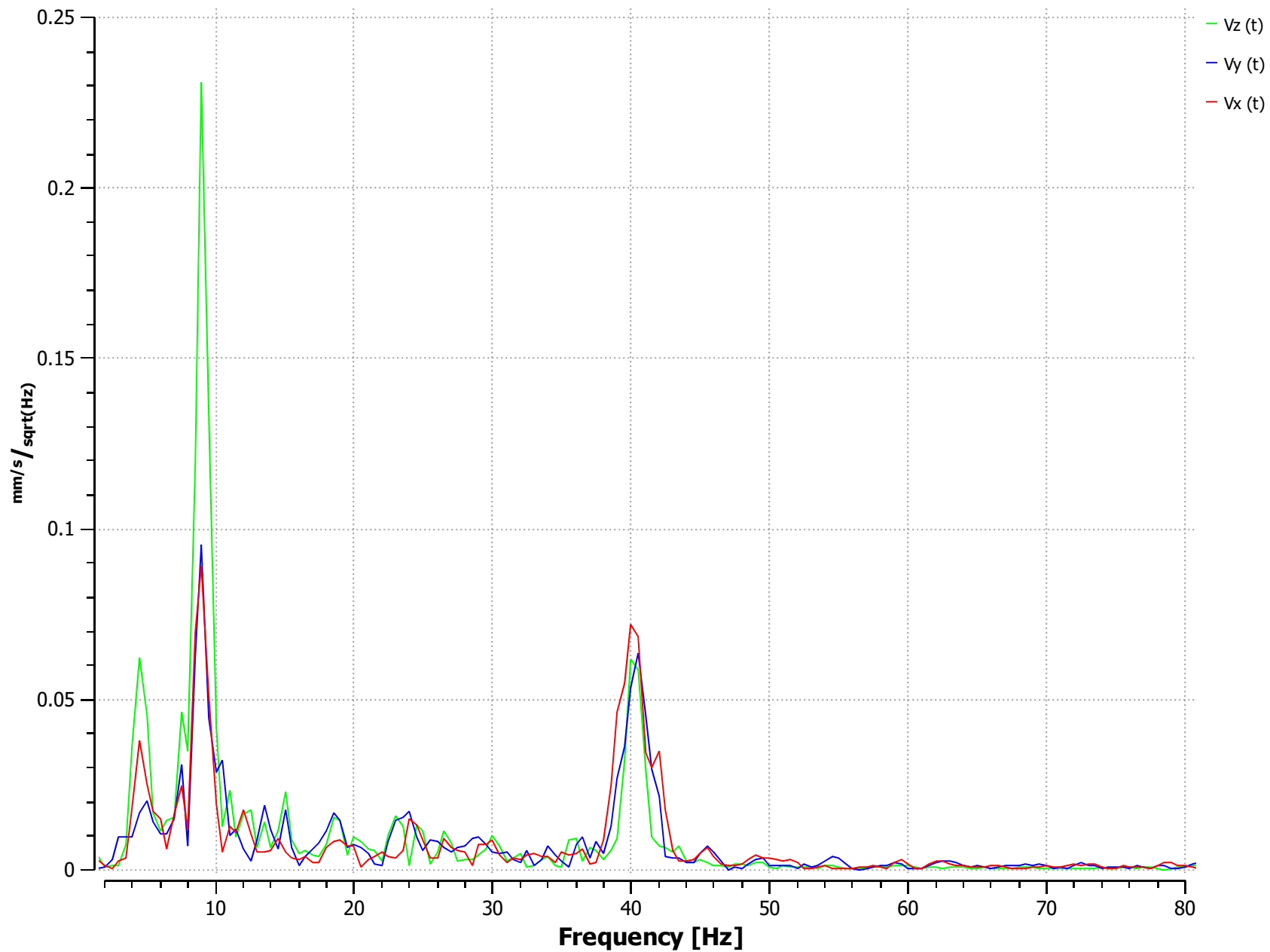
Velocity Trace: 2020-11-26 01:25:20



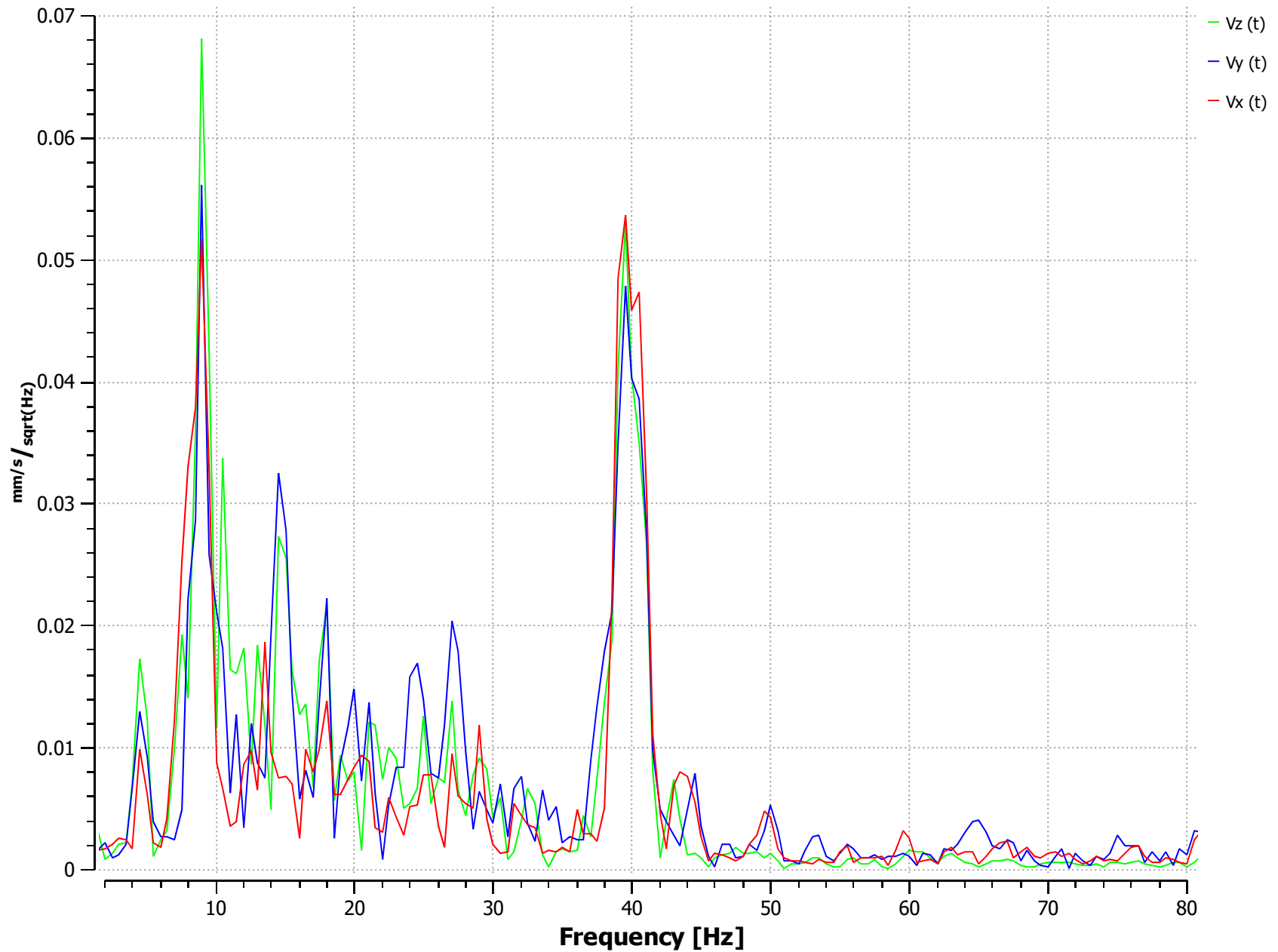
Spectrum: 2020-11-28 08:32:04



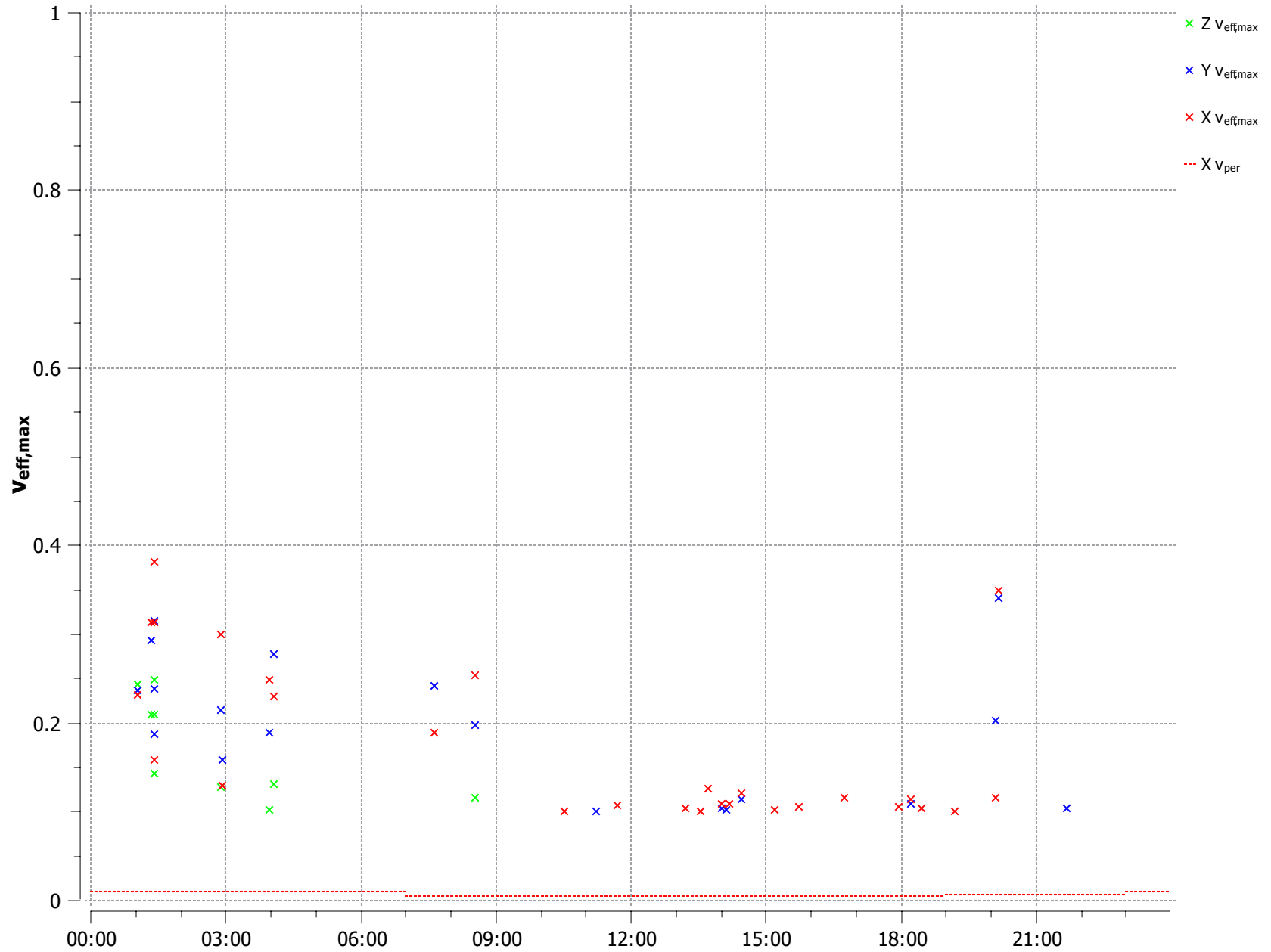
Spectrum: 2020-11-26 01:25:20



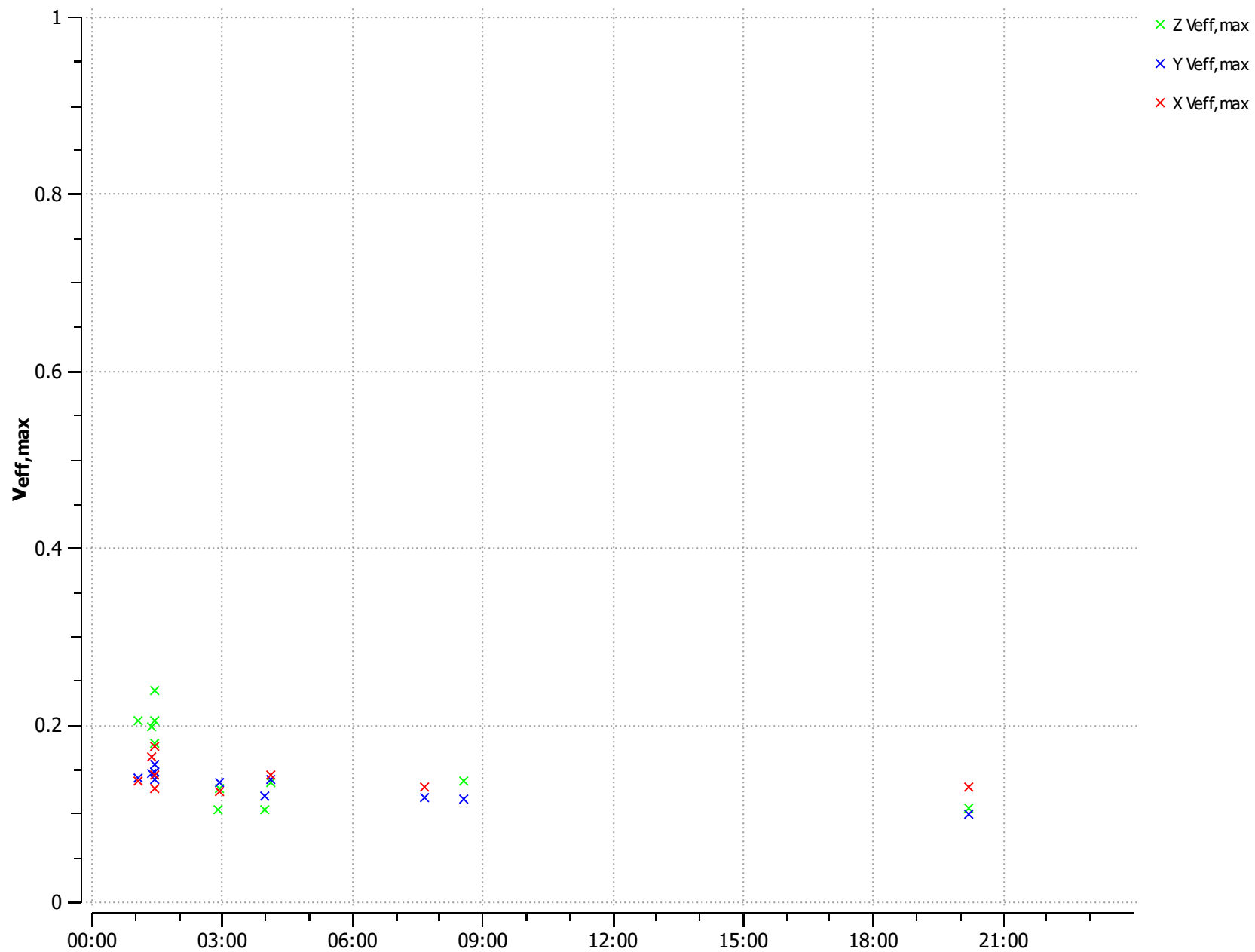
Spectrum: 2020-11-24 02:54:30



VIB00098 Cuijk 1 2020-11-23



130906 Cuijk 2 2020-11-23



BIJLAGE 2: BEREKENINGSBLADEN

2A: Berekening trillingsniveaus gebouwen op afstand 40 m

2B: Berekening trillingsniveaus gebouwen op afstand 45 m

2C: Berekening trillingsniveaus gebouwen op afstand 70 m

Formule van Barkan

$$V_R = V_{R0} * \left[\frac{R_0}{R} \right]^n e^{-\alpha(R-R_0)}$$

Waarin:

V_R trillingssterkte (m/s) op een afstand R van de bron;
 V_{R0} 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 40 meter afstand van het spoor

Invoergegevens berekeningen:

R0 [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
30	40	0,5	0,01	0,06	0,06	2,5	1,6	1,6

Dagperiode

Z-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z
	0,14	30	40	0,5	0,01
	0,01	30	40	0,5	0,01

Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
	0,27
	0,02

Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,110	8
	0,008	-

X-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X
	0,13	30	40	0,5	0,06
	0,01	30	40	0,5	0,06

Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
	0,10
	0,01

Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,062	32
	0,005	-

Y-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y
	0,12	30	40	0,5	0,06
	0,01	30	40	0,5	0,06

Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
	0,09
	0,01

Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,057	32
	0,005	-

Avondperiode

Z-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z
	0,11	30	40	0,5	0,01
	0,01	30	40	0,5	0,01

Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]

Vmax0,22

Vper0,02

Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,086	8
	0,008	-

X-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X
	0,14	30	40	0,5	0,06
	0,01	30	40	0,5	0,06

Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]

Vmax0,11

Vper0,01

Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,067	32
	0,005	-

Y-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y
	0,10	30	40	0,5	0,06
	0,01	30	40	0,5	0,06

Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]

Vmax0,08

Vper0,01

Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,048	32
	0,005	-

Nachtperiode

Z-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,24	30	40	0,5	0,01		0,19	8
	0,01	30	40	0,5	0,01		0,008	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,47							
	0,02							

X-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,18	30	40	0,5	0,06		0,09	32
	0,01	30	40	0,5	0,06		0,00	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,14							
	0,01							

Y-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,16	30	40	0,5	0,06		0,08	32
	0,01	30	40	0,5	0,06		0,00	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,12							
	0,01							

Formule van Barkan

$$V_R = V_{R0} * \left[\frac{R_0}{R} \right]^n e^{-\alpha(R-R_0)}$$

Waarin:

V_R trillingssterkte (m/s) op een afstand R van de bron;
 V_{R0} 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

Appartementen op 45 meter afstand van het spoor

Invoergegevens berekeningen:

R0 [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
30	45	0,5	0,01	0,06	0,06	2,5	1,6	1,6

Dagperiode

Z-richting								
Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,14	30	45	0,5	0,01		0,098	8
	0,01	30	45	0,5	0,01		0,007	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,25							
	0,02							

X-richting								
Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,13	30	45	0,5	0,06		0,043	32
	0,01	30	45	0,5	0,06		0,003	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,07							
	0,01							

Y-richting								
Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,12	30	45	0,5	0,06		0,040	32
	0,01	30	45	0,5	0,06		0,003	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,06							
	0,01							

Avondperiode

Z-richting								
Veff,max	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,11	30	45	0,5	0,01		0,077	8
Vper	0,01	30	45	0,5	0,01	Vper	0,007	-
Vmax	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,19							
	0,02							
Vper								

X-richting								
Veff,max	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,14	30	45	0,5	0,06		0,046	32
Vper	0,01	30	45	0,5	0,06	Vper	0,003	-
Vmax	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,07							
	0,01							
Vper								

Y-richting								
Veff,max	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,10	30	45	0,5	0,06		0,033	32
Vper	0,01	30	45	0,5	0,06	Vper	0,003	-
Vmax	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,05							
	0,01							
Vper								

Nachtperiode

Z-richting

Veff,max	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,24	30	45	0,5	0,01		0,17	8
	Vper	0,01	30	45	0,5		0,01	0,007
Vmax	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,42							
	Vper						0,02	

X-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,18	30	45	0,5	0,06		0,06	32
	0,01	30	45	0,5	0,06		0,00	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,10							
	0,01							

Y-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,16	30	45	0,5	0,06		0,05	32
	0,01	30	45	0,5	0,06		0,00	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,08							
	0,01							

Formule van Barkan

$$V_R = V_{R0} * \left[\frac{R_0}{R} \right]^n e^{-\alpha(R-R_0)}$$

Waarin:

V_R trillingssterkte (m/s) op een afstand R van de bron;
 V_{R0} 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 75 meter afstand van het spoor

Invoergegevens berekeningen:

R0 [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
30	75	0,5	0,01	0,06	0,06	2,5	1,6	1,6

Dagperiode

Z-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z
	0,14	30	75	0,5	0,01
	0,01	30	75	0,5	0,01

Prognose
trillingsniveaus
(op de vloer) [-]

Vmax
Vper

0,14
0,01

Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,056	8
	0,004	-

X-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X
	0,13	30	75	0,5	0,06
	0,01	30	75	0,5	0,06

Prognose
trillingsniveaus
(op de vloer) [-]

Vmax
Vper

0,01
0,00

Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,006	32
	0,000	-

Y-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y
	0,12	30	75	0,5	0,06
	0,01	30	75	0,5	0,06

Prognose
trillingsniveaus
(op de vloer) [-]

Vmax
Vper

0,01
0,00

Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,005	32
	0,000	-

Avondperiode

Z-richting								
Veff,max	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,11	30	75	0,5	0,01		0,044	8
Vper	0,01	30	75	0,5	0,01	Vper	0,004	-
Vmax	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,11							
	0,01							
Vper								

X-richting								
Veff,max	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,14	30	75	0,5	0,06		0,006	32
Vper	0,01	30	75	0,5	0,06	Vper	0,000	-
Vmax	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,01							
	0,00							
Vper								

Y-richting								
Veff,max	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,10	30	75	0,5	0,06		0,004	32
Vper	0,01	30	75	0,5	0,06	Vper	0,000	-
Vmax	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,01							
	0,00							
Vper								

Nachtperiode

Z-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,24	30	75	0,5	0,01		0,10	8
	0,01	30	75	0,5	0,01		0,004	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,24							
	0,01							

X-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,18	30	75	0,5	0,06		0,01	32
	0,01	30	75	0,5	0,06		0,00	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,01							
	0,00							

Y-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,16	30	75	0,5	0,06		0,01	32
	0,01	30	75	0,5	0,06		0,00	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,01							
	0,00							

BIJLAGE 3: TERMEN EN DEFINITIES VAN SBR-B

4 Termen en definities

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

Amplitude-frequentie karakteristiek: 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

5.1 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/s²
- f frequentie, in Hz
- f_e eigenfrequentie, in Hz
- g zwaartekrachtversnelling (9,81 m/s²)
- T trillingstijd, in s
- u verplaatsing, in mm
- v snelheid, in mm/s

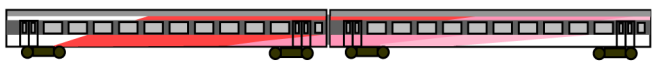
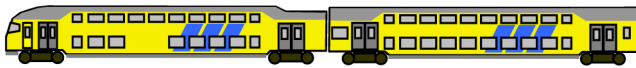
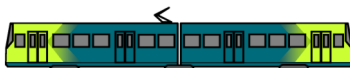
5.3 Gehanteerde symbolen

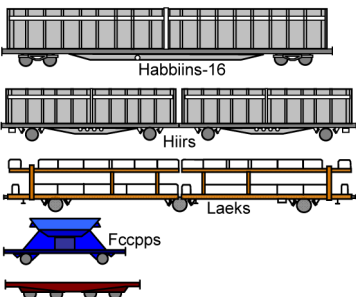
De verder in deze richtlijn gehanteerde symbolen zijn hieronder weergegeven.

- A₁ streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max}, dimensieloos
- A₂ maximale waarde voor de trillingssterkte V_{max}, dimensieloos
- A₃ streefwaarde voor de trillingssterkte V_{per}, dimensieloos
- f frequentie, in Hz
- f* frequentie in Hz, waarvoor φ(f) = 0
- f_{max} grensfrequentie van het laagdoorlaatfilter, in Hz
- f_{min} grensfrequentie van het hoogdoorlaatfilter, in Hz
- f_o kantelfrequentie van het wegingsfilter, f_o = 5,6 Hz
- H_{a(f)} wegingfunctie trillingsversnelling, s²/m
- H_{v(f)} wegingfunctie trillingssnelheid, s/mm
- i variabele die het interval van 30 seconden aangeeft waarin v_{eff,max,30,i} is gemeten

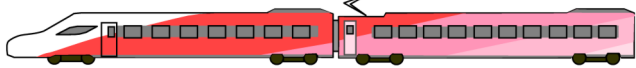
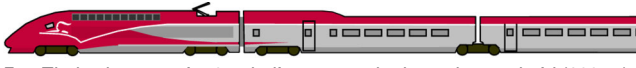
- N aantal aaneensluitende tijdsintervallen van 30 seconden in een beoordelingsperiode; voor de dagperiode van 07.00 tot 19.00 uur, N = 1440 voor de dagperiode van 07.00 tot 19.00 uur, N = 1440 voor de avondperiode van 19.00 tot 23.00 uur, N = 480 voor de nachtperiode van 23.00 tot 07.00 uur, N = 960
- 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
- T₀ tijdsduur van de beoordelingsperiode, in s
- τ tijdconstante, in s
- V_{max} grootste waarde van v_{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_{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 trillingsgrootheid, dimensieloos
- v_{eff}(t) voortschrijdende effectieve waarde van de gewogen momentane trillingsgrootheid, dimensieloos
- v_{eff,max} de grootste waarde van v_{eff}(t) over de meetduur, dimensieloos
- v_{eff,max,30,i} de grootste waarde van v_{eff}(t) in een tijdsinterval van 30 seconden, dimensieloos
- v_{eff,max,stat} de statistisch bepaalde grootste waarde van v_{eff}(t) over de meetduur, dimensieloos
- v_o referentiewaarde van de wegingfunctie, v_o = 1,0 mm/s
- v_{per,meet} de kwadratisch gemiddelde effectieve waarde van v_{eff,max,30,i} over de meetperiode
- φ(f) maximale referentie fase-frequentie karakteristiek voor het meetsysteem, in graden
- φ_m(f) de fase-frequentiekarakteristiek van het meetsysteem, in graden

BIJLAGE 4: GEGEVENS SPOORVERKEER

Cat	Type	Tekening (onderling op schaal)	Getoond aantal reken- eenheden	Getoonde lengte
1	Spoorvoertuigcategorie 1: blokgeremd reizigersmaterieel: – elektrisch reizigersmaterieel met uitsluitend gietijzeren blokremmen met de bijbehorende locomotieven: treinstellen van Materieel '64. –			
	Mat'64		2	52 m
2	Spoorvoertuigcategorie 2: schijf+blokgeremd reizigersmaterieel – elektrisch reizigersmaterieel met voornamelijk schijfremmen en toegevoegde gietijzeren blokremmen: het intercitymaterieel van het type ICM III, ICR en DDM-1.			
	ICM III	 Heeft 3 rekeneenheden per treinstel.	2	54 m
	ICR	 De categorie-indeling hangt af van het remsysteem. Als de toegevoegde blokkenrem is afgeschakeld is het categorie 8, als deze rem met alternatieve (LL-)blokken is uitgevoerd is het categorie 3 en als deze rem met gietijzeren blokken is uitgevoerd is het categorie 2.	2	53 m
	ICR(BNL)	 De categorie-indeling hangt af van het remsysteem. Als de toegevoegde blokkenrem is afgeschakeld is het categorie 8, als deze rem met alternatieve (LL-)blokken is uitgevoerd is het categorie 3 en als deze rem met gietijzeren blokken is uitgevoerd is het categorie 2.	2	53 m
	DDM-1	 Heeft toegevoegde blokkenrem. Uiterlijk vrijwel gelijk aan de DDM-2/3 die in categorie 8 is ingedeeld. Altijd met locomotief.	2	52 m
3	Spoorvoertuigcategorie 3: schijf+blokgeremd elektrisch materieel: – elektrisch reizigersmaterieel met uitsluitend schijfremmen en met motorgeluid: het stadsge-westelijk materieel (SGM-II/III); – elektrische locomotieven, zoals de series 1600, 1700 en 1800; – elektrisch reizigersmaterieel met voornamelijk schijfremmen en toegevoegde alternatieve (LL-)blokremmen: bijvoorbeeld het intercitymaterieel van het type ICR; – de Utrechtse sneltram (SUNIJ).			
	SGM		2	52 m
	SUNIJ	 Er zijn 2 geledingen per rekeneenheid.	1	29 m

Cat	Type	Tekening (onderling op schaal)	Getoond aantal reken- eenheden	Getoonde lengte
4	Spoorvoertuigcategorie 4: goederenmaterieel met gietijzeren blokremmen: – alle typen goederenmaterieel met gietijzeren blokremmen.			
	Goederen	 De categorie van goederenwagens hangt van het remsysteem af. Wagens met gietijzeren blokken vallen in categorie 4. Wagens met alternatieve (K- of LL-) blokkenrem of schijfremmen vallen in categorie 11. Sommige goederenwagens, zoals Hiirs en Laeks, hebben geledingen. Gelede goederenwagens lijken aparte wagens, maar rijden onder slechts één wagennummer en tellen als 1 rekeneenheid.	1 1 1 1	Variabel Vlootge- mid- delde is circa 15 m
5	Spoorvoertuigcategorie 5: blokgeremd dieselmaterieel: – diesel-elektrisch reizigersmaterieel met uitsluitend blokremmen met de bijbehorende locomotieven: de treinstellen van het type DE-I/II/III; – diesel-elektrische locomotieven, behalve de DE-6400.			
6	Spoorvoertuigcategorie 6: schijfgeremd dieselmaterieel: – dieselhydraulisch reizigersmaterieel met uitsluitend schijfremmen en met motorgeluid: de Wadloper (DH), de Buffel (DM'90) – de diesel-elektrische locomotief DE-6400			
	DM'90 Buffel		2	52 m
7	Spoorvoertuigcategorie 7: schijfgeremd metro- en sneltrammaterieel: – metro- en sneltrammaterieel van de GVB en de RET Scharnierende geledingen met 3 draaistellen zijn 1 eenheid.			

Cat	Type	Tekening (onderling op schaal)	Getoond aantal reken-eenheden	Getoonde lengte
8	Spoorvoertuigcategorie 8: schijfgeremd reizigersmaterieel: – elektrisch reizigersmaterieel met uitsluitend schijfremmen: de typen ICM IV, vIRM-IV/VI, DDM-2/3, ICK, SLT, Protos, GTW-EMU; – elektrisch reizigersmaterieel met afgeschakelde blokkremmen (aangepaste ICR); – diesel-elektrisch lightrailmaterieel: De Lint, Talent, GTW-DMU; – RSG3- en SG3-materieel (Randstadrail).			
	ICM-IV	 Heeft 4 rekeneenheden per treinstel	2	54 m
	IRM	 	2	54 m
	DDM-2/3	 Uiterlijk vrijwel gelijk aan de DDM-1 die in categorie 2 is ingedeeld. Rijdt meestal met motorbak mDDM in plaats van locomotief.	2	52 m
	SLT-S100	 Getoond is een half treinstel. Een heel treinstel bestaat uit 6 rekeneenheden.	3	50 m
	SLT-S70	 Getoond is een half treinstel. Een heel treinstel bestaat uit 4 rekeneenheden.	2	35 m
	Protos	 	2	53 m
	GTW2/8	 Aantal rekeneenheden ≠ aantal geledingen.	3	56 m
	GTW2/6	 Aantal rekeneenheden ≠ aantal geledingen.	2	41 m
	Lint	 	2	42 m
	RSG3	 	3	43 m

Cat	Type	Tekening (onderling op schaal)	Getoond aantal reken- eenheden	Getoonde lengte
9	Spoorvoertuigcategorie 9: schijf+blokgeremd hogesnelheidsmaterieel: – elektrisch hogesnelheidsmaterieel met voornamelijk schijfremmen en toegevoegde blokremmen op de motorwagens: de treinstellen van het type Thalys; – elektrisch hogesnelheidsmaterieel van het type ICE-3.			
	V250	 Een V250 (Albatros) bestaat uit 8 geledingen en telt als 1 rekeneenheid (201 m). Getoond zijn de eerste 2 geledingen.	0,25	52 m
	ICE	 Een ICE bestaat uit 8 geledingen en telt als 1 rekeneenheid (201 m). Getoond zijn de eerste 2 geledingen.	0,25	51 m
	Thalys	 Een Thalys bestaat uit 10 geledingen en telt als 1 rekeneenheid (200 m). Getoond zijn de eerste 3 geledingen.	0,30	63 m
10	Spoorvoertuigcategorie 10: lightrailmaterieel: – lightrailmaterieel van het type A32 en de Regio Citadis; – andere typen schijf en/of magneetgeremd lightrailmaterieel met de volgende kenmerken: aslast kleiner dan 10 ton, geveerde wielen met een doorsnede kleiner dan 700 mm, afscherming van wielen en rails door lage vloer en vergelijkbare asdichtheid als A32 materieel.			
	A32	 Let op: aantal rekeneenheden ≠ aantal geledingen	2	30 m
	Regio Citadis		3	38 m
11	Spoorvoertuigcategorie 11: goederenmaterieel met alternatieve blokremmen (K- of LL-blokken): – alle typen goederenmaterieel met alternatieve (K- of LL-) blokremmen. Voor figuren: zie bij categorie 4.			

1.2.2 Nieuwe spoorvoertuigcategorieën en spoorwegconstructies

Van de in paragraaf 1.2.1 met name genoemde spoorvoertuigtypen in de categorieën 1 tot en met 11 zijn de emissiekenmerken in het verleden vastgesteld. Deze indeling is gebaseerd op type aandrijving en remsysteem.

De emissiekenmerken van een nieuw spoorvoertuigtype of een nieuwe spoorwegconstructie worden bepaald door middel van een meting.

Bij wijzigingen aan deze spoorvoertuigtypen dan wel bij het beschikbaar komen van nieuwe spoorvoertuigtypen gelden de volgende regels:

1. Als er een modificatie van een bestaand spoorvoertuigtype (met ander typenummer etc.) plaatsvindt waarbij het type aandrijving en het type remsysteem niet wijzigt: dit spoorvoertuigtype wordt in dezelfde spoorvoertuigcategorie ingedeeld als waarin het voor de modificatie was geplaatst.
2. Als er een modificatie van een bestaand spoorvoertuigtype (met ander typenummer etc.) plaatsvindt waarbij het aandrijf- en/of remsysteem wel is gewijzigd: met procedure A uit de Technische Regeling Emissiemeetmethoden Railverkeer 2006 wordt getoetst of het spoorvoertuigtype kan worden ingedeeld in een bestaande categorie.
3. Als toepassing van procedure A uit de Technische Regeling Emissiemeetmethoden Railverkeer 2006 niet leidt tot een indeling in een bestaande categorie: met procedure B uit de Technische Regeling Emissiemeetmethoden Railverkeer 2006 worden nieuwe emissiekentallen voor het spoorvoertuigtype vastgesteld.



Baanvaksegment

Locatie

Snelheid

Intensiteit

Bovenbouw

PCW

Categorie	Dag	Avond	Nacht	Etmaal
Cat. 1	0.00	0.00	0.00	0.00
Cat. 2	0.00	0.00	0.00	0.00
Cat. 3	0.00	0.00	0.00	0.00
Cat. 4	0.10	0.07	0.01	1.56
Cat. 5	0.00	0.00	0.00	0.00
Cat. 6	8.62	7.70	2.42	153.60
Cat. 7	0.00	0.00	0.00	0.00
Cat. 8	4.52	3.03	1.09	75.08
Cat. 88	0.00	0.00	0.00	0.00
Cat. 9	0.00	0.00	0.00	0.00
Cat. 10	0.00	0.00	0.00	0.00
Cat. 11	0.00	0.00	0.00	0.00
Totaal	13.24	10.80	3.52	230.24

Intensiteiten in rekeneenheden/uur.

Etmaalintensiteiten in rekeneenheden/etmaal.

