

Bezoekadres:
Amerikalaan 14
6199 AE Maastricht - Airport
Postadres:
Hoofdweg 70
3067 GH Rotterdam

T +31 (0)88-5152505
E info@cauberg Huygen.nl
W <http://www.cauberg Huygen.nl>

K.V.K. 58792562
IBAN NL71RABO0112075584

**Trillingsonderzoek Best;
bouwplan Oirschotseweg 18 t/m 24**

Datum **16 juli 2020**
Referentie **06020-52097-02**

Referentie 06020-52097-02
Rapporttitel Trillingsonderzoek Best;
bouwplan Oirschotseweg 18 t/m 24

Datum 16 juli 2020

Opdrachtgever Van Laarhoven Bouw
Luchthavenweg 13E
5657 AE EINDHOVEN
Contactpersoon De heer H. van Laarhoven

Behandeld door De heer ing. J. Kerkhofs
De heer C.J. Ostendorf
Cauberg Huygen B.V.
Bezoekadres:
Amerikalaan 14
6199 AE Maastricht - Airport
Postadres:
Hoofdweg 70
3067 GH Rotterdam
Telefoon 088-5152505

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
2	Uitgangspunten	5
2.1	Opzet onderzoek	5
2.2	Bestemmingsplan	5
2.3	Toetsingskader	6
2.4	Beschrijving situatie ten tijde van het onderzoek	7
3	Trillingsmetingen	8
3.1	Algemeen	8
3.2	Meetposities	8
3.3	Meetparameters	10
3.4	Treinen	10
4	Meetresultaten	11
4.1	Bemande metingen	11
4.2	Onbemande metingen	11
5	Prognose	16
5.1	Werkwijze	16
5.2	Invoergegevens	16
5.2.1	$V(f)_{\text{topmaaiveld}}$	16
5.2.2	$H(f)_{\text{fundering}}$	17
5.2.3	$H(f)_{\text{vloer}}$	17
5.3	Resultaat prognose	18
5.4	Beoordeling V_{max}	18
5.5	Berekening en beoordeling V_{per}	19
6	Beschouwing	20
7	Conclusie	21

Bijlagen

Bijlage I	Meetresultaten trillingen
------------------	----------------------------------

1 Inleiding

In opdracht van Van Laarhoven Bouw is door Cauberg Huygen B.V. een trillingsonderzoek uitgevoerd in verband met de ontwikkeling van een bouwplan aan de Oirschotseweg binnen het bestemmingsplan Naastenbest en Dijkstraten-Zuid. Voor de realisatie van het bouwplan dient het bestemmingsplan te worden gewijzigd. Daarom is een ruimtelijke onderbouwing nodig. Vanwege de ligging van het plan in de buurt van het spoor, maakt een trillingsonderzoek deel uit van de ruimtelijke onderbouwing. Figuur 1.1 geeft een overzicht van de locatie van het bouwplan.



Figuur 1.1: Situering onderzoeksgebied aan de Oirschotseweg binnen het rode kader, de blauwe lijnen geven het spoor aan

Het onderzoeksgebied ligt op circa 70 meter ten westen van de lijn Best – Boxtel en Best - Eindhoven. Doel van het onderzoek is om te bepalen of de trillingen als gevolg van het treinverkeer kunnen leiden tot hinder voor personen in de nieuw te bouwen woningen. Daartoe zijn trillingsmetingen uitgevoerd op maaiveld en in de bestaande bebouwing. Aan de hand van de resultaten van deze trillingsmetingen is een prognose opgesteld. Daarbij is onderzocht of trillingsreducerende maatregelen nodig zijn.

Bij de uitvoering van de trillingsmetingen en de beoordeling van de berekende trillingssterkte is gebruik gemaakt van SBR meet- en beoordelingsrichtlijn deel B “Trillingen; hinder voor personen in gebouwen (SBR-B). SBR-B geeft streefwaarden voor de trillingssterkte in de woning ter voorkoming van hinder voor personen. Deze richtlijn is algemeen geaccepteerd ter beoordeling van de trillingen.

Voorliggende rapportage beschrijft de uitgangspunten van het onderzoek, de meetresultaten, de prognose en de beoordeling van de trillingen.

2 Uitgangspunten

2.1 Opzet onderzoek

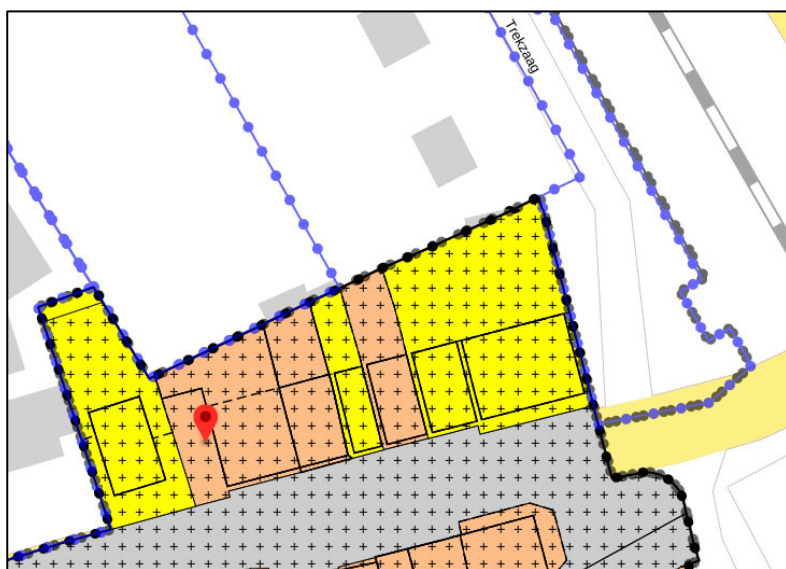
Voor de opzet van het onderzoek is gekozen voor een combinatie van bemande en onbemande metingen. De bemande metingen zijn uitgevoerd op 19 juni 2020 en gebruikt om de duur van de treinpassage en de vorm van het bijbehorende tijdsignaal te bepalen zodat bij de analyse van de onbemande metingen onderscheid kan worden gemaakt tussen trillingen van treinverkeer en trillingen van andere bronnen.

De onbemande metingen zijn aansluitend uitgevoerd van 19 t/m 26 juni voor een periode van 7 dagen. In de SBR richtlijn wordt namelijk een meetperiode aanbevolen van minimaal één week. Hierdoor ontstaat inzicht in de optredende trillingsniveaus over een langere periode.

Er is gemeten op twee meetpunten ter plaatse van de toekomstige bebouwing en op één meetpunt dicht bij het spoor. Dit laatste meetpunt is gebruikt om trillingen van treinen te herkennen. Op basis van de meetresultaten ter plaatse van de toekomstige bebouwing, is de trillingssterkte in de toekomstige woningen berekend. De berekende trillingssterkte $V_{\max}$ is getoetst aan de streefwaarden uit SBR B.

2.2 Bestemmingsplan

Het onderzoeksgebied valt binnen het bestemmingsplan Naastenbest en Dijkstraten-Zuid dat is vastgesteld op 19 maart 2012. Op de locatie rusten de bestemmingen “gemengd” en “Wonen”. Figuur 2.1 toont de bestemmingskaart voor de planlocatie op basis van het vigerende bestemmingsplan.



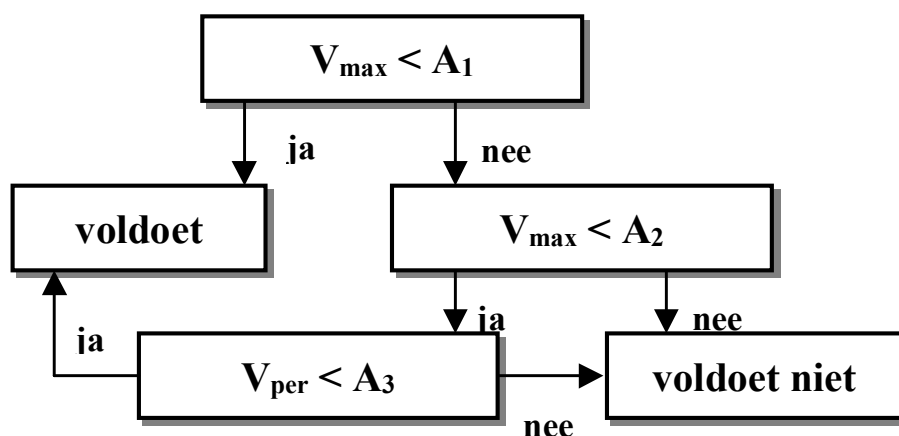
Figuur 2.1: Vigerende bestemming planlocaties

In de planregels van het vigerende bestemmingsplan zijn geen voorwaarden opgenomen met betrekking tot trillingen. Dit betekent dat bij de beoordeling van de onderzoeksresultaten geen rekening hoeft te worden gehouden met regels vanuit het bestemmingsplan. Om de nieuwbouw mogelijk te maken, is een wijziging van

het bestemmingsplan nodig. De gemeente zou in het gewijzigde bestemmingsplan regels op kunnen nemen met betrekking tot trillingen.

2.3 Toetsingskader

Voor de beoordeling van de trillingssterkte in de woning is gebruik gemaakt van SBR richtlijn B uit 2006. De beoordeling vindt plaats op basis van twee parameters namelijk $V_{\max}$ en V_{per} . De parameter $V_{\max}$ staat voor de maximale gewogen trillingssnelheid binnen een beoordelingsperiode (dag, avond en nacht). Parameter V_{per} staat voor de gemiddelde trillingssnelheid over een beoordelingsperiode. $V_{\max}$ (en eventueel V_{per}) worden op basis van metingen vastgesteld en vervolgens getoetst. De toetsing vindt plaats op basis van navolgend schema.



Uit het schema volgt dat $V_{\max}$ eerst getoetst wordt aan A_1 en A_2 alvorens V_{per} wordt bepaald en getoetst aan A_3 . A_1 is de onderste streefwaarden. Als $V_{\max}$ kleiner is dan A_1 dan is verdere beoordeling niet nodig en wordt voldaan aan SBR richtlijn deel B. Een verdere toetsing is dan niet nodig.

A_2 is de bovenste streefwaarde. Als $V_{\max}$ niet voldoet aan A_2 dan wordt niet aan SBR richtlijn deel B voldaan. A_3 is de streefwaarde voor V_{per} en gaat over de gemiddelde trillingssterkte over een beoordelingsperiode. Als $V_{\max}$ groter is dan A_1 maar kleiner dan A_2 en V_{per} voldoet aan A_3 dan voldoet de trillingssterkte ook aan SBR richtlijn deel B. Als V_{per} groter is dan A_3 , dan wordt niet voldaan aan de SBR richtlijn deel B.

De toetsingswaarden voor A_1 , A_2 en A_3 zijn afhankelijk van de functie van een bouwwerk, het type trilling, de situatie en het tijdstip waarop de trillingen voorkomen. De functie van het bouwwerk is wonen. De trillingen zijn afkomstig van railverkeer en worden daarom geclassificeerd als herhaald voorkomend. De trillingen komen zowel in de dag- (07.00-19.00 uur), avond- (19.00-23.00 uur) als in de nachtperiode (23.00-07.00 uur) voor.

De voorliggende situatie betreft een nieuwe situatie want er is sprake van nieuw te bouwen woningen. In tabel 2.1 zijn de streefwaarden voor $V_{\max}$ en V_{per} voor een nieuwe situatie conform SBR richtlijn B opgenomen.

Tabel 2.1: Streefwaarden nieuwe situatie hinder $V_{\max}$ en V_{per}

Gebouwfunctie	Dag-/avondperiode			Nachtperiode		
	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
Woning	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05

Uit tabel 2.1 volgt dat de nachtperiode maatgevend is voor de beoordeling van de trillingen. De streefwaarde A_2 (de bovenste streefwaarde) is in de nacht het laagst en bedraagt 0,2.

2.4 Beschrijving situatie ten tijde van het onderzoek

Het bouwplan ligt op circa 70 meter afstand van het dichtstbijzijnde spoor en het station Best. Het spoor ligt verdiept. Figuur 2.2 toont een aanblik van het spoor gezien vanaf de straat (Trekzaag) naast het spoor.



Figuur 2.2: Zicht op het spoor vanaf Trekzaag

Ten noorden van het onderzoeksgebied vinden bouwwerkzaamheden plaats. Tijdens het onderzoek hebben geen heiwerkzaamheden plaatsgevonden die voor stoortrillingen hebben gezorgd.

De locatie is ten tijde van het onderzoek bebouwd met een woning, een winkel en een Chinees restaurant. De panden zijn in de jaren '50 gebouwd. Figuur 2.3 geeft zicht op de voorgevel van het Chinees restaurant met daarnaast de winkel. Achter de winkel ligt een parkeerterrein met daarnaast een woning. De toekomstige bebouwing komt op dezelfde plek te staan als de bestaande bebouwing. De bodem onder de panden bestaat vooral uit zand.



Figuur 2.3: Situatie onderzoeksgebied ten tijde van het onderzoek vanaf de spoorkant

3 Trillingsmetingen

3.1 Algemeen

De trillingsmetingen zijn uitgevoerd van 19 t/m 26 juni 2020. Bij de metingen is gebruik gemaakt van de volgende meetapparatuur:

- 3x Syscom Red Box trillingsmonitor MR3000TR.
- 3x 3D trillingsopnemer (trillingssnelheid).

Alle trillingsmeters worden onderhouden op basis van het kwaliteitssysteem van Cauberg Huygen B.V. en zijn op basis van vier internet timeservers gesynchroniseerd in tijd.

3.2 Meetposities

De meetpunten zijn gekozen op de hoekpunten van de toekomstige bebouwing zo ver mogelijk van de weg af om stoortrillingen door verkeer te voorkomen.

Het meetpunt “fundering” ligt in het bestaande gebouw in een berging achter het Chinese restaurant op 70 meter afstand van het spoor. Het meetpunt “maaiveld” ligt achter de woning, op maaiveld, op ongeveer 120 meter van het spoor. Om trillingen veroorzaakt door treinen te kunnen herkennen is een extra meetpunt “referentie” geplaatst in de voortuin van een woning gelegen aan Trekzaag op 25 meter van het spoor. Figuur 3.1 toont de meetposities.



Figuur 3.1: Overzicht meetposities

Het referentiemeetpunt is gebruikt om de momenten vast te leggen waarop een trein is gepasseerd en tegelijkertijd de trillingsmeters in het bouwplan aan te sturen.

Op ieder meetpunt is de trillingssnelheid gemeten in drie richtingen:

- Horizontaal dwars op het spoor (de X-richting)
- Horizontaal evenwijdig aan het spoor (de Y-richting)
- Verticaal (de Z-richting)

Het meetpunt op maaiveld is ingegraven in de bodem zodat op de vaste grond is gemeten. De trillingsopnemer is bevestigd op een grondplaat die stevig in de zandbodem is gedrukt. Naast de sensor zijn ook de accu en de trillingsmonitor geplaatst. Figuur 3.2 geeft de meetopstelling op maaiveld weer.



Figuur 3.2: Meetopstelling op meetpunt "maaiveld"

In het bestaande gebouw is een trillingsmeter op de begane grond kort bij de fundering geplaatst. De vloer is opgebouwd uit beton. De dikte is niet bekend. De bouten van de sensoren zijn op de betonvloer geplaatst. Figuur 3.3 geeft de meetopstelling weer.



Figuur 3.3: Meetopstelling in gebouw achter het restaurant op meetpunt "fundering"

Voor de start van de metingen zijn de trillingsopnemers waterpas gezet.

3.3 Meetparameters

Elke 30 seconde is de trillingssterkte $v_{eff,max,30,i}$ bepaald. Dit is de hoogste effectieve trillingssterkte gemeten in de meterstand fast, waarbij de frequentieweging volgens de SBR richtlijn B is toegepast.

Het trillingsniveau op het referentiepunt is gebruikt als aansturing van de trillingsmeters binnen het bouwplan. Als het trillingsniveau op het referentiepunt een vooraf ingestelde trillingssnelheid overschreed, is een registratie van de trillingssnelheid in de tijd uitgevoerd (tijdsignaal) voor alle drie de meetpunten. De tijdsignalen zijn gebruikt voor de prognose.

3.4 Treinen

Treinen die gebruik maken van het spoor zijn:

- sprinters van het type Flirt en SLT;
- intercity's van het type VIRM;
- diverse goederentreinen.

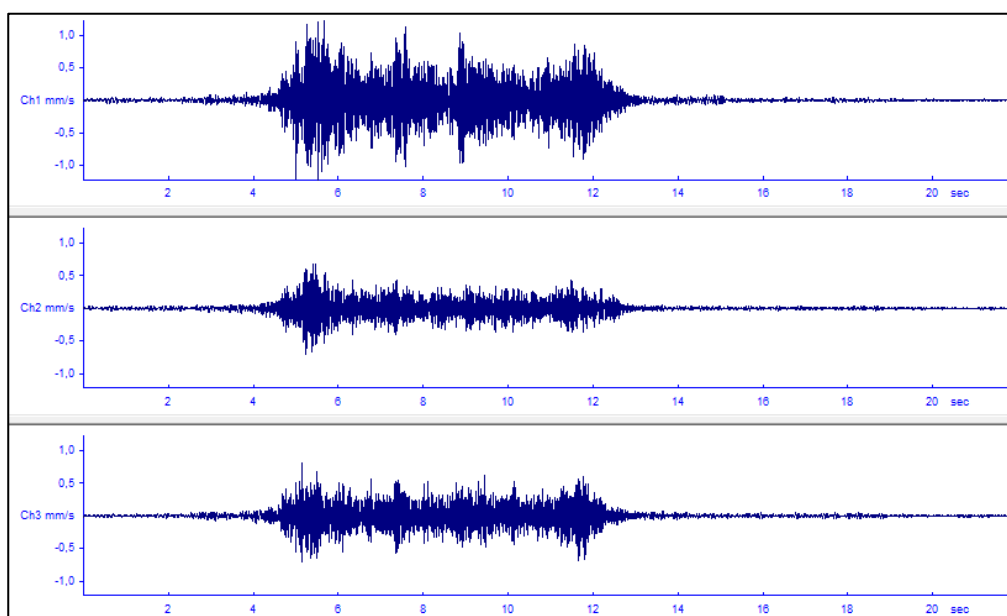
De sprinters stoppen bij het station. De rijsnelheid van deze treinen is over het algemeen daarom laag. De intercity's en goederentreinen rijden met hogere snelheid door het station.

4 Meetresultaten

4.1 Bemande metingen

De bemande metingen zijn direct uitgevoerd bij het installeren van de trillingsmeters. Dit was op 19 juni 2020. Hierbij is gelet op de werking van de sensoren en de vorm van de tijdsignalen van de trillingen van de treinpassages. De meetresultaten van de bemande metingen zijn gelijktijdig verwerkt met de meetresultaten uit de onbemande metingen.

Tijdens de bemande meting is de drempelwaarde van de sensor bij het spoor ingesteld zodat alleen de maatgevende treinen zijn geregistreerd. Alleen als de trillingsmeter naast het spoor een trilling heeft geregistreerd die de drempelwaarde heeft overschreden, is gelijktijdig een tijdsignaal op de andere meetpunten geregistreerd. Figuur 4.1 toont een voorbeeld van een treinpassage op het referentiepunt.



Figuur 4.1: Verloop tijdsignaal meetpunt "referentie" op 25 meter van spoor

Uit figuur 4.1 blijkt dat de trillingen van het treinverkeer duidelijk herkenbaar zijn.

4.2 Onbemande metingen

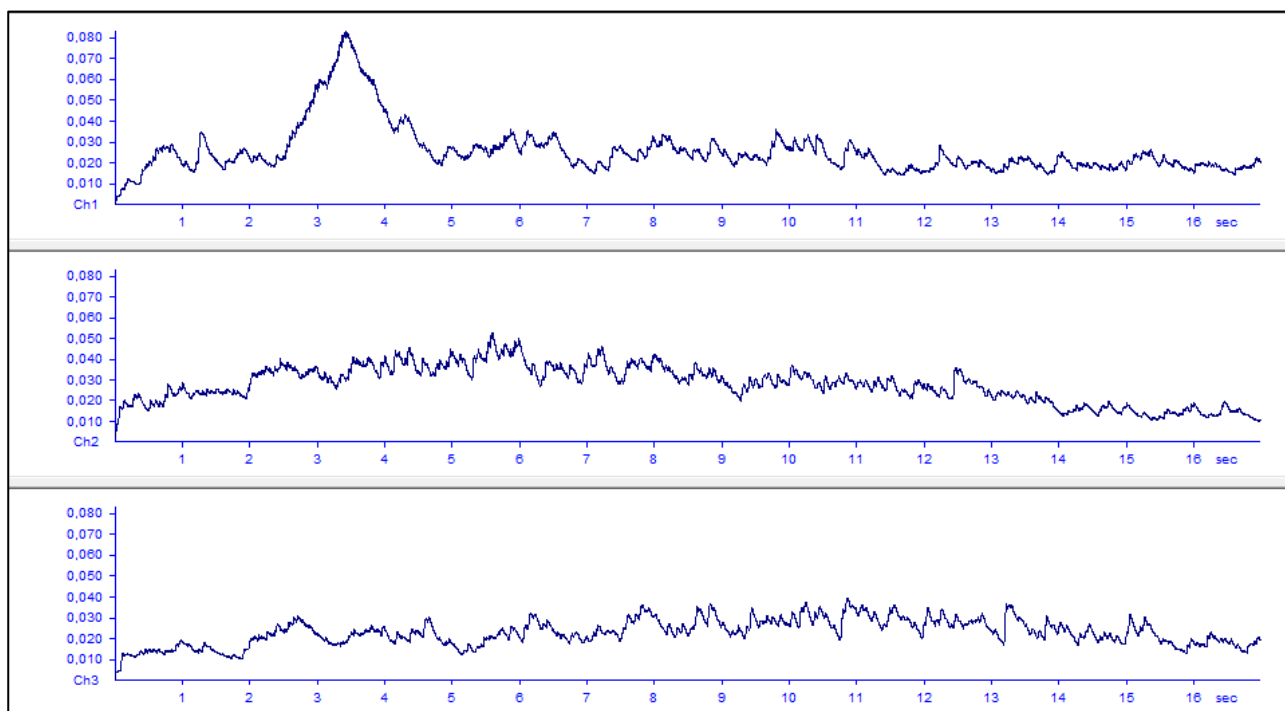
De meetresultaten van de onbemande metingen zijn in grafieken opgenomen in bijlage I. Hieruit is per meetpunt een top 10 van de treinpassages geselecteerd met de hoogste trillingssterkte met bijbehorende dominante trillingsrichting. Tabel 4.1 toont het resultaat.

Tabel 4.1: Meetresultaten top 10 $v_{\max}$ per meetpunt

datum tijd	120m meetpunt op maaiveld	70m meetpunt in gebouw
19-6-2020 14:36	0,055 X	
19-6-2020 18:52	0,081 Y	
19-6-2020 19:03	0,072 Y	0,063 Z
19-6-2020 22:03		0,045 Z
20-6-2020 10:08		0,050 Z
20-6-2020 19:19		0,053 Z
21-6-2020 11:54	0,050 Y en Z	
22-6-2020 09:50	0,055 Z	
22-6-2020 11:06	0,073 Y	
22-6-2020 19:02	0,058 Z	0,059 Z
24-6-2020 02:47	0,056 X	0,049 Z
24-6-2020 04:05	0,068 Z	0,056 Z
24-6-2020 12:49		0,052 Z
24-6-2020 16:04		0,060 Z
24-6-2020 19:07	0,084 X	0,049 Z

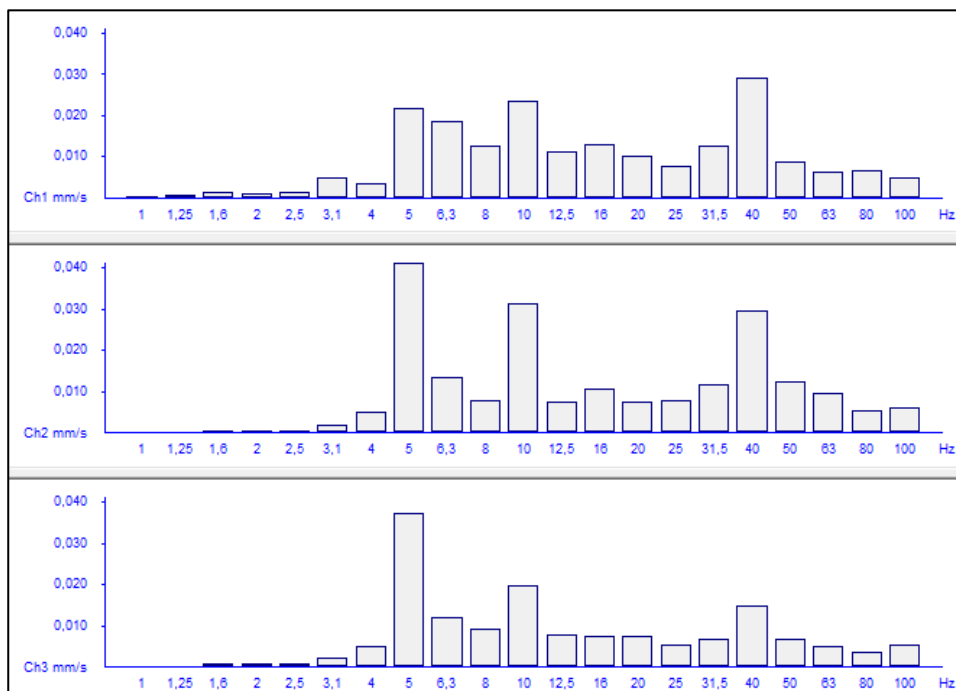
Tabel 4.1 laat zien dat $V_{\max}$ op de meetpunten op maaiveld hoger is dan op het meetpunt in het gebouw. Dit is normaal. De hoogste trillingssterkte ter plaatse van het meetpunt “maaiveld” bedraagt 0,08. In het bestaande gebouw, op de fundering is de hoogste trillingssterkte 0,06.

Naast de verschillen in trillingssterkte is ook te zien dat de maatgevende passages voor alle meetpunten verspreid liggen over de gehele week. De treinpassages die maatgevend zijn op het ene meetpunt hoeven niet maatgevend te zijn op het andere meetpunt. Figuur 4.2 toont als voorbeeld het verloop van de voortschrijdende effectieve trillingssterkte voor de treinpassage met de hoogste trillingssterkte.



Figuur 4.2: Verloop voortschrijdende effectieve trillingssterkte treinpassage met hoogste V_{max} (meetpunt maaiveld)

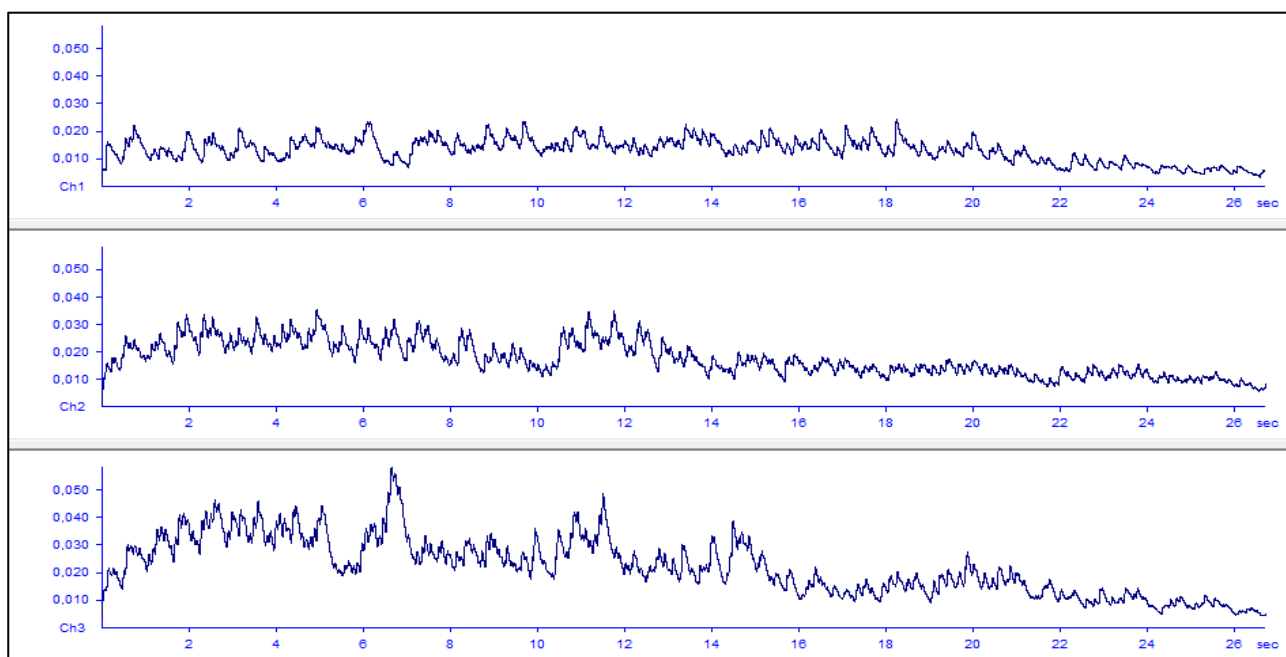
Uit figuur 4.2 volgt dat de horizontale trillingsrichting maatgevend is geweest bij deze passage. Het bij figuur 4.2 horende maxhold spectrum in tertsbanden is weergegeven in figuur 4.3.



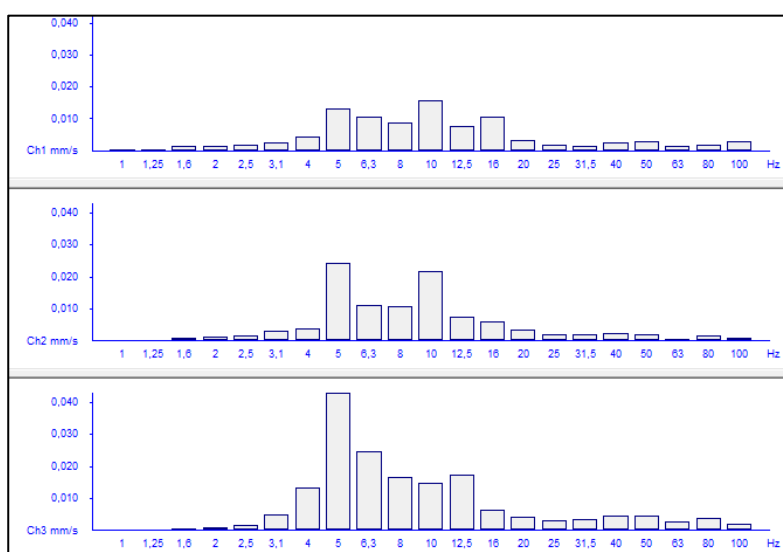
Figuur 4.3: Maxhold spectrum passage trein hoogste V_{max} meetpunt maaiveld

Uit figuur 4.3 volgt dat voor het meetpunt op maaiveld drie frequentiebanden in het spectrum bepalend zijn voor de trillingssterkte. Het gaat hierbij met name om de 5, 10 en 40 Hz tertsband. Bij andere passages bleken ook de andere tertsbanden (12,5 en 16 Hz) een bijdrage te leveren.

In het bestaande gebouw hebben de tijdsignalen met het verloop van de trillingssterkte dezelfde vorm als op maaiveld. Alleen is de effectieve trillingssterkte lager dan op maaiveld. In figuur 4.4 is het verloop van de voortschrijdende effectieve trillingssterkte van de maatgevende passage op de fundering weergegeven. Het bij figuur 4.4 horende maxhold spectrum in tertsbanden is weergegeven in figuur 4.5.



Figuur 4.4: Verloop voortschrijdende effectieve trillingssterkte treinpassage met hoogste $V_{\max}$ (meetpunt fundering)



Figuur 4.5: Maxhold spectrum passage trein figuur 4.4

Uit figuur 4.5 volgt dat ook voor het meetpunt op de fundering vooral de lage frequenties in het spectrum bepalend zijn voor de trillingssterkte. Het gaat hierbij met name om de 5 Hz tertsband. Bij andere passages op dit meetpunt zijn ook de 10, 12,5 en 16 Hz tertsband van belang. Dit komt overeen met het meetpunt op maaiveld.

5 Prognose

5.1 Werkwijze

Voor de berekening van de trillingsniveaus ($V_{\max}$) in het nieuwe gebouw is gebruik gemaakt van het volgende empirische rekenmodel:

$$V_{\max} = V(f)_{\text{topmaaiveld}} * H(f)_{\text{fundering}} * H(f)_{\text{vloer}} * H(v)_{\text{SBRB}}$$

Hierin is:

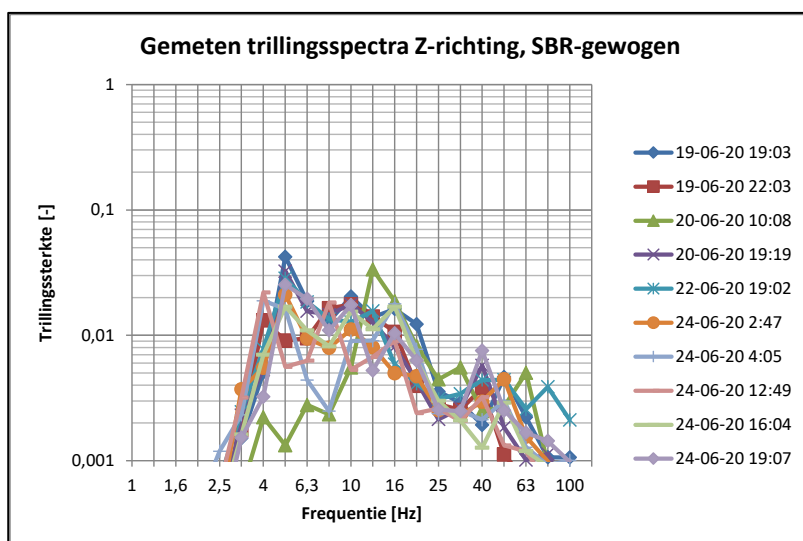
$V_{\max}$	de volgens SBR B gewogen maximale trillingssterkte.
$V(f)_{\text{topmaaiveld}}$	de gemeten trillingssnelheid op maaiveld.
$H(f)_{\text{fundering}}$	overdrachtsfactor voor de fundering.
$H(f)_{\text{vloer}}$	overdrachtsfactor voor de vloer.
$H(v)_{\text{SBRB}}$	weging van de trillingssnelheid volgens SBR B.

Alle berekeningen zijn spectraal uitgevoerd in het frequentiebereik tussen 1 en 80 Hz in tertsbanden. Voor $V(f)_{\text{topmaaiveld}}$ is uitgegaan van het maxhold spectrum. De weging volgens $H(v)_{\text{SBRB}}$ is toegepast op $V(f)_{\text{topmaaiveld}}$. De prognose is opgesteld per meetpunt en daarmee per bouwblok. Een berekend verschil in $V_{\max}$ van 0,05 is niet significant. Daarvoor is de onzekerheid binnen de prognose te groot.

5.2 Invoergegevens

5.2.1 $V(f)_{\text{topmaaiveld}}$

Per meetpunt is de top 10 treinpassages spectraal vergeleken. Vanuit deze spectra is een prognose opgesteld. Figuur 5.1 geeft als voorbeeld de 10 spectra die voor het 70 meter meetpunt in het gebouw zijn gebruikt. Hieruit blijkt dat de waarde van de trillingssnelheid varieert per treinpassage maar dat het spectrum in grote lijnen dezelfde vorm heeft.

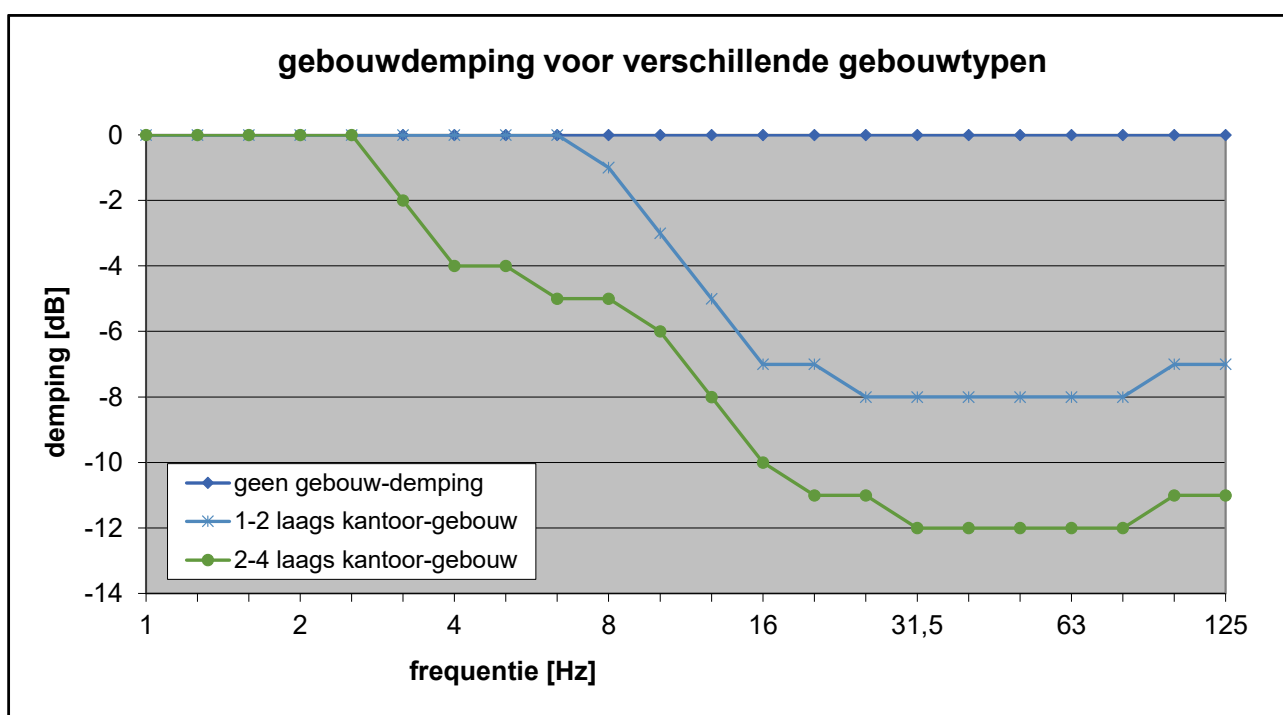


Figuur 5.1: Overzicht gewogen trillingsspectra treinpassages meetpunt in gebouw in prognose

5.2.2 $H(f)_{\text{fundering}}$

De funderingswijze van de nieuwbouw bestaat uit een balkenstructuur op palen. Het gebouw krijgt 3 verdiepingen. In het rekenmodel is gebruik gemaakt van kentallen voor de overdrachtsfactor. Voor het meetpunt op maaiveld is uitgegaan van een fundering voor een “2-4 laags kantoorgebouw” en voor het meetpunt “fundering” in het gebouw voor een “1-2 laags kantoorgebouw”. De reden dat voor een verschillende overdracht is gekozen, is omdat in de meetresultaten voor het punt “fundering” al een overdracht van maaiveld naar de fundering is mee gemeten.

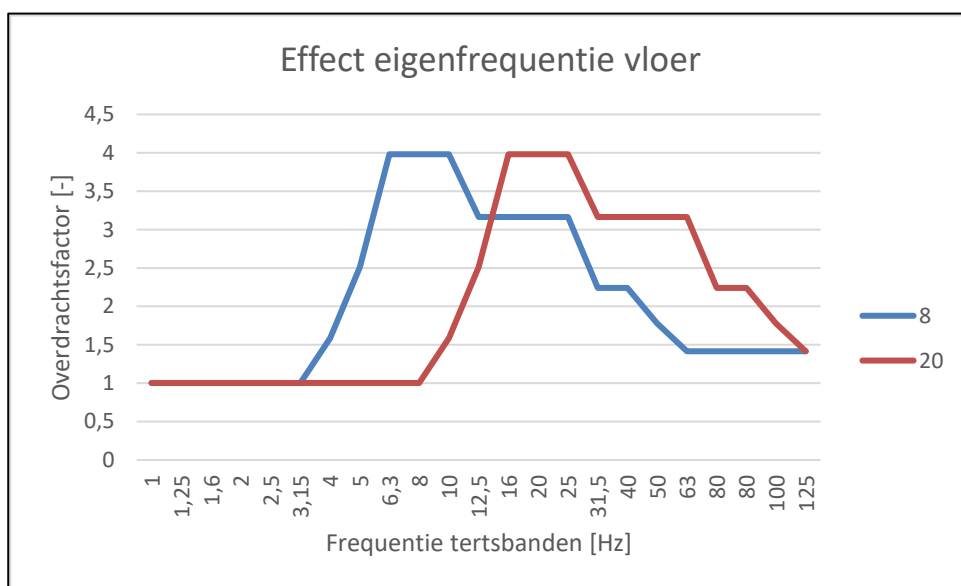
Op basis van literatuurgegevens is uitgegaan van de in figuur 5.2 getoonde overdrachtsfactoren in dB voor de trillingen vanuit maaiveld naar de fundering. Een waarde van 0 wil zeggen dat er geen verzwakking optreedt. Voor de laagste frequenties vanaf 0 Hz tot 2,5 Hz tertsband heeft de fundering geen reducerende invloed. Een negatieve waarde wil zeggen dat er verzwakking optreedt. De frequenties van 4 en 5 Hz hebben een verzwakking van 4 dB oftewel een factor 1,6. Daarna wordt de verzwakking geleidelijk groter. De verzwakking in de 16 Hz tertsband bedraagt met 7 dB een factor 2,2.



Figuur 5.2: Verloop overdrachtsfactor voor trillingen maaiveld naar fundering

5.2.3 $H(f)_{\text{vloer}}$

Op basis van de aangereikte bouwkundige gegevens is berekend dat de eigenfrequentie van de vloer rond de 20 Hz of hoger zal bedragen. Omdat de uitgangspunten nog niet vastliggen, is ervoor gekozen om lagere veel voorkomende frequenties ook mee te nemen in de prognose. De gebruikte eigenfrequenties voor de prognose zijn 8, 12, 16 en 20 Hz. Figuur 5.3 toont de overdrachtsfactor voor de vloer. Voor 12 en 16 Hz gelden de waarden op basis van een horizontale verschuiving tussen 8 en 20 Hz. Een waarde groter dan 1 geeft aan dat de vloer voor die frequenties extra trillingen veroorzaakt als gevolg van resonantie.



Figuur 5.3: Overdrachtsfactor vloer voor een eigenfrequentie van 8 en 20 Hz

5.3 Resultaat prognose

Per meetpunt is voor de top 10 treinpassages een prognose opgesteld. Het resultaat van de prognose is weergegeven in tabel 5.1. De weergegeven trillingssterkte $V_{\max}$ betreft de hoogste berekende trillingssterkte voor de 10 gebruikte treinpassages en de drie trillingsrichtingen voor het betreffende meetpunt.

Tabel 5.1: Resultaat prognose op basis van metingen maaiveld

Meetpunt	Eerste eigenfrequentie →	$V_{\max}$ prognose [-]			
		8 Hz	12 Hz	16 Hz	20 Hz
Meetpunt maaiveld 120 meter van spoor		0,1	0,08	0,08	0,07
Meetpunt fundering 70 meter van spoor		0,17	0,11	0,1	0,08

Uit tabel 5.1 volgt dat de trillingssterkte $V_{\max}$ per meetpunt varieert maar in ordegrrootte tussen 0,07 en 0,17 bedraagt afhankelijk van het meetpunt en de eigenfrequentie van de vloer. Uit de prognose volgt ook dat een hogere eigenfrequentie van de vloeren zorgt voor een lagere $V_{\max}$.

De trillingssterkte voor het meetpunt “fundering” zorgt nu voor de hoogste trillingssterkte omdat de gebruikte demping voor de overdracht bodem – fundering relatief laag is. De resultaten uit tabel 5.1 zijn beoordeeld in paragraaf 5.4.

5.4 Beoordeling $V_{\max}$

De beoordeling is uitgevoerd voor $V_{\max}$ op basis van de onderste streefwaarde A_1 en bovenste streefwaarde A_2 . In de beoordeling is per meetpunt gebruik gemaakt van de meest gunstige en ongunstige uitkomst van de prognose. Voor beide meetpunten is een lage eerste eigenfrequentie van de vloeren het meest ongunstig voor de maximale trillingssterkte.

De beoordeling is samengevat in tabel 5.2.

Tabel 5.2: Beoordeling $V_{\max}$

Meetpunt	f_0 [Hz]	$V_{\max}$	A_1	Beoordeling A_1	A_2 dag/avond	Beoordeling A_2 Dag/Avond	A_2 nacht	Beoordeling A_2 nacht
Maaiveld 120 meter van spoor	8	0,17	0,1	Voldoet niet	0,4	Voldoet	0,2	Voldoet
	20	0,08	0,1	Voldoet	0,4	Voldoet	0,2	Voldoet
Fundering 70 meter van spoor	8	0,1	0,1	Voldoet niet	0,4	Voldoet	0,2	Voldoet
	20	0,07	0,1	Voldoet	0,4	Voldoet	0,2	Voldoet

Uit tabel 5.3 volgt dat de berekende $V_{\max}$ niet voor alle situaties voldoet aan de streefwaarde A_1 . Bij een lage eerste eigenfrequentie van de vloeren, overschrijdt $V_{\max}$ de streefwaarde A_1 . $V_{\max}$ voldoet wel in alle periodes en situaties aan A_2 .

Bij een hoge eerste eigenfrequentie voldoet $V_{\max}$ ook aan A_1 . Verdere toetsing is dan niet nodig. Op basis van de gehanteerde uitgangspunten is de verwachting dat de eigenfrequenties tussen de 20 en 30 Hz zullen liggen. In dat geval voldoet $V_{\max}$ aan A_1 en valt trillingshinder niet te verwachten. Een beoordeling van V_{per} is dan ook niet nodig.

Uit bovenstaande beoordeling volgt ook dat een overschrijding van de streefwaarde A_1 mogelijk is als de eigenfrequentie van de vloer onder de 20 Hz komt. In dat geval kan nog steeds voldaan worden aan de streefwaarden uit SBR richtlijn B namelijk als de gemiddelde trillingssterkte V_{per} voldoet aan de streefwaarde A_3 . Paragraaf 5.5 gaat hier op in.

5.5 Berekening en beoordeling V_{per}

Als $V_{\max}$ voldoet aan de streefwaarde A_2 maar groter is dan de streefwaarde A_1 (0,1 in alle perioden) dient de gemiddelde trillingssterkte V_{per} te worden getoetst aan de streefwaarde A_3 (0,05). Dit is beschreven in deze paragraaf.

V_{per} is de gemiddelde trillingssterkte per periode (dag, avond, nacht) en wordt berekend op basis van alle geprognosticeerde $V_{\max}$ waarden in de woning die gelijk zijn aan of groter zijn dan 0,1. Het aantal treinen dat een trillingssterkte veroorzaakt boven de 0,1 is beperkt. Indien de meest ongunstige eigenfrequentie voor de vloeren wordt gekozen, zijn dit maximaal 10 treinpassages per dag. Zelfs als al die treinpassages zouden zorgen voor een $V_{\max}$ van 0,17, voldoet V_{per} met een waarde van 0,014 nog aan de streefwaarde A_3 van 0,05. Dus ook bij een ongunstige eigenfrequentie van de vloeren voldoet V_{per} . Daarmee voldoet de berekende trillingssterkte aan de streefwaarden uit SBR richtlijn B.

6 Beschouwing

Hoewel het empirische rekenmodel zoveel mogelijk gebruik maakt van meetgegevens, maken de resultaten van de prognose duidelijk dat een variatie in $V_{\max}$ mogelijk is.

De prognose vanaf maaiveld bevat de meeste onzekerheden omdat voor alle overdrachten (bodem – fundering, fundering – vloer) gebruik is gemaakt van kentallen. Die kentallen zijn echter zo gekozen dat een maximale situatie wordt berekend. In de praktijk zal $V_{\max}$ bijna altijd lager uitvallen. Voordeel van deze worst case benadering is dat als uit de prognose blijkt dat voldaan wordt aan de streefwaarden, dit in de praktijk in de meeste gevallen ook daadwerkelijk gehaald wordt.

De prognose vanaf de bestaande fundering bevat ook onzekerheden omdat de overdracht van bodem naar fundering weliswaar al in de meting is opgenomen maar de invloed niet precies bekend is. Correctie voor de invloed van de bestaande fundering kan daardoor alleen op basis van een inschatting.

Het is goed om te beseffen dat niet iedere treinpassage zal leiden tot de berekende waarden uit tabel 5.1. De prognose is opgesteld op basis van de maximale trillingssterkte gemeten over een periode van 7 dagen. Als de eigenfrequenties van de vloeren boven de 20 Hz liggen, zullen de treinpassages niet voelbaar zijn. Bij een lagere eigenfrequentie kan een incidentele treinpassage voelbaar zijn. Dat leidt echter niet tot het niet voldoen aan SBR richtlijn B.

7 Conclusie

In opdracht van Van Laarhoven Bouw is door Cauberg Huygen B.V. een trillingsonderzoek uitgevoerd ten behoeve van geplande woningbouw langs de Oirschotseweg in Best in verband met de optredende trillingen vanwege railverkeer.

Het trillingsonderzoek leidt tot de volgende conclusies:

1. Op basis van de metingen en uitgaande van een eigenfrequentie van 20 Hz voor de vloeren, geldt dat voldaan wordt aan SBR richtlijn B. De berekende trillingssterkte $V_{\max}$ bedraagt afhankelijk van het meetpunt tussen de 0,07 en 0,08.
2. Op basis van het huidige ontwerp en de aangeleverde tekeningen is de verwachting dat de eerste eigenfrequentie van de vloeren 20 Hz of hoger zal bedragen.
3. Mocht de eigenfrequentie zakken tot 8 Hz dan ontstaat een overschrijding van de streefwaarde A_1 voor de trillingssterkte A_1 . De trillingssterkte $V_{\max}$ voldoet echter aan de streefwaarde A_2 en de gemiddelde trillingssterkte V_{per} zal voldoen aan de streefwaarde A_3 . Ook in deze ongunstige situatie voldoet de trillingssterkte nog steeds aan SBR richtlijn B.
4. Om het risico op hinder door trillingen zo klein mogelijk te houden, verdient het de voorkeur om de eigenfrequenties van de vloer tussen de 20 en 30 Hz uit te laten komen.

Cauberg Huygen B.V.



De heer C.J. Ostendorf
Senior adviseur

Bijlage I Meetresultaten trillingen

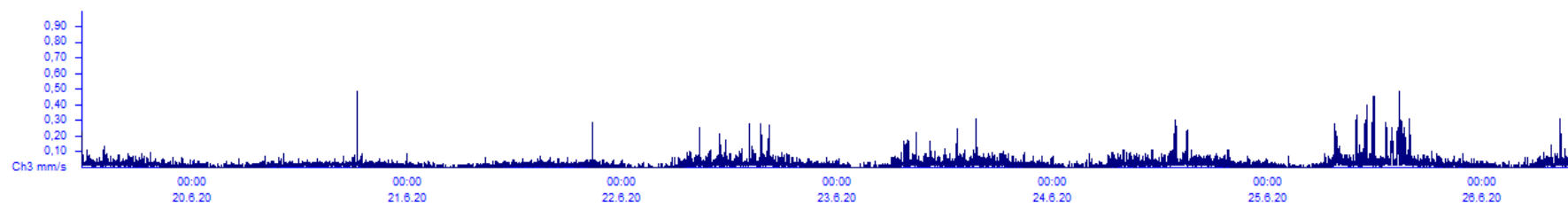
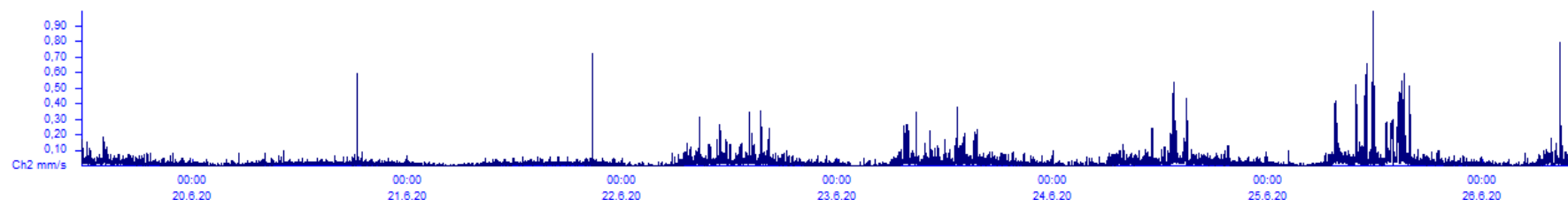
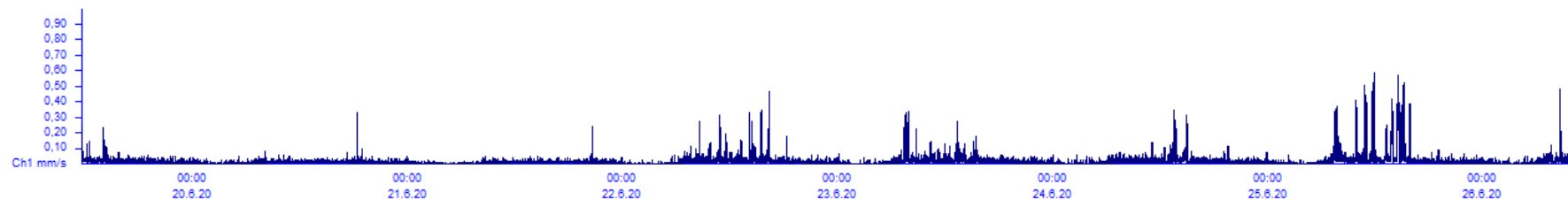
Meetpunt Maaiveld

File Name: Concatenated Peak File
MR-Name: XMR2002
Station: MT35_Best_achter-18200066

Start: 19.6.20 11:37
End: 26.6.20 11:08
Interval: 30 s

Max(1) = 0,590 mm/s
Max(2) = 0,993 mm/s
Max(3) = 0,487 mm/s

Trigger(1) = 0,0 mm/s
Trigger(2) = 0,0 mm/s
Trigger(3) = 0,0 mm/s



Verloop $v_{\text{effmax},30,i}$ voor meetpunt maaiveld van 19 juni t/m 26 juni. Alle trillingsbronnen.

Ch1: X, horizontaal richting dwars op het spoor

Ch2: Y, horizontaal evenwijdig aan het spoor

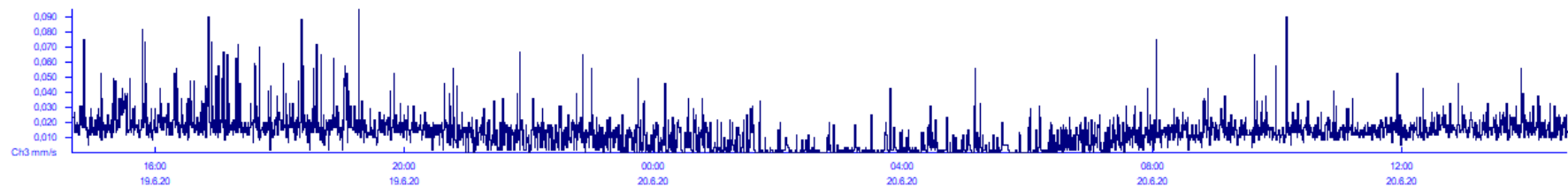
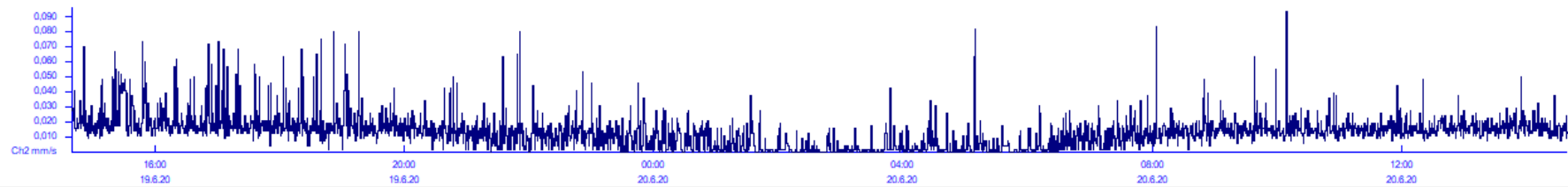
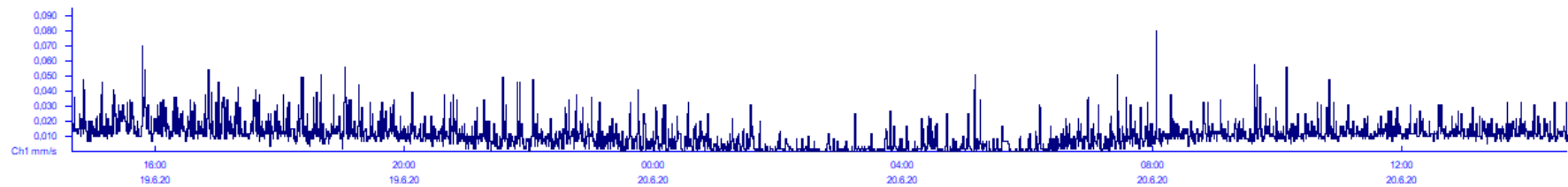
Ch3: Z, verticale trillingsrichting

File Name: ...Box\BMR\MT35\20171003.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: MT35_Best_achter-18200066

Start: 19.6.20 14:40
End: 20.6.20 14:39
Interval: 30 s

Max(1) = 0,0803 mm/s
Max(2) = 0,0940 mm/s
Max(3) = 0,0957 mm/s

Trigger(1) = 0,0 mm/s
Trigger(2) = 0,0 mm/s
Trigger(3) = 0,0 mm/s



Verloop $v_{\text{effmax},30,i}$ voor meetpunt maaiveld van 19 juni t/m 20 juni. Alle trillingsbronnen.

Ch1: X, horizontaal richting dwars op het spoor

Ch2: Y, horizontaal evenwijdig aan het spoor

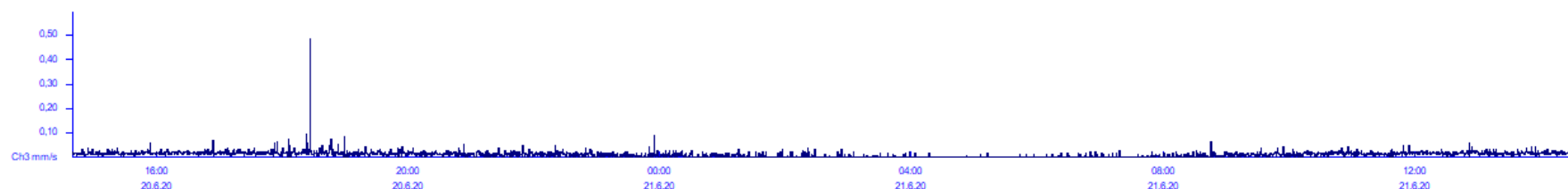
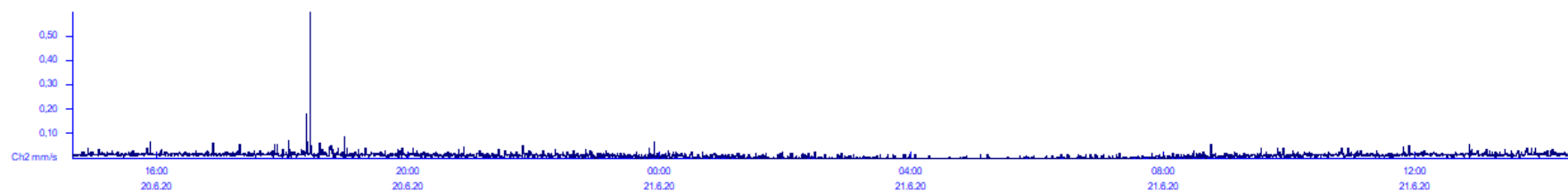
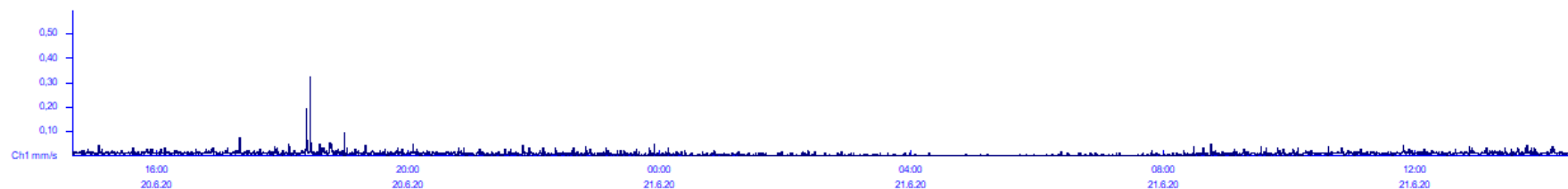
Ch3: Z, verticale trillingsrichting

File Name: ...Box\BMR\MT35\20172004.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: MT35_Best_achter-18200066

Start: 20.6.20 14:40
End: 21.6.20 14:39
Interval: 30 s

Max(1) = 0,326 mm/s
Max(2) = 0,596 mm/s
Max(3) = 0,487 mm/s

Trigger(1) = 0,0 mm/s
Trigger(2) = 0,0 mm/s
Trigger(3) = 0,0 mm/s



Verloop $v_{\text{effmax},30,i}$ voor meetpunt maaiveld van 20 juni t/m 21 juni. Alle trillingsbronnen.

Ch1: X, horizontaal richting dwars op het spoor

Ch2: Y, horizontaal evenwijdig aan het spoor

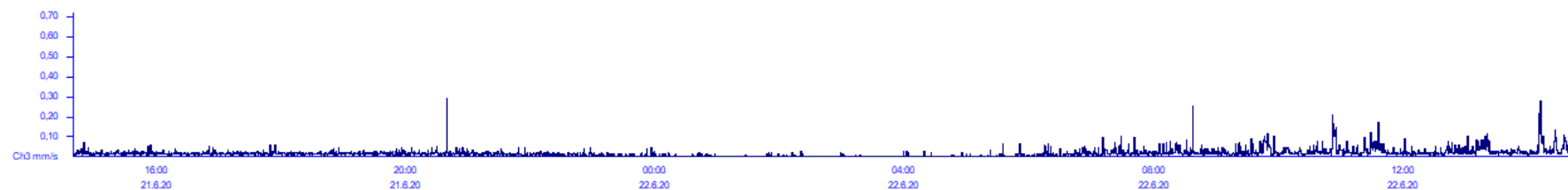
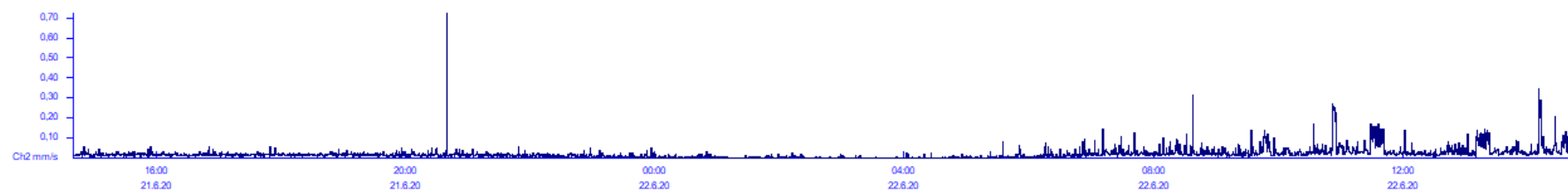
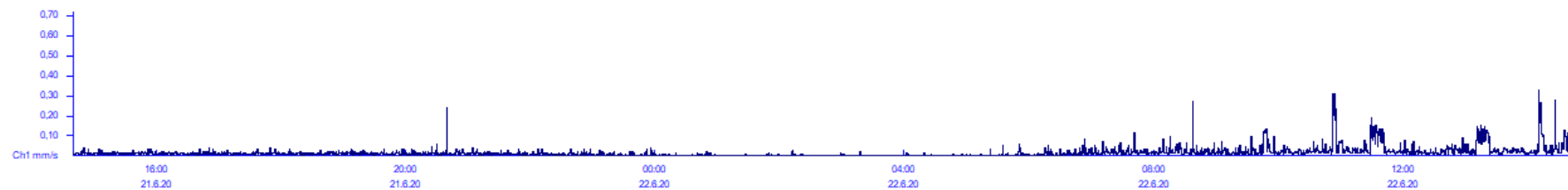
Ch3: Z, verticale trillingsrichting

File Name: ...Box\BMR\MT35\20173005.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: MT35_Best_achter-18200066

Start: 21.6.20 14:40
End: 22.6.20 14:39
Interval: 30 s

Max(1) = 0,326 mm/s
Max(2) = 0,721 mm/s
Max(3) = 0,289 mm/s

Trigger(1) = 0,0 mm/s
Trigger(2) = 0,0 mm/s
Trigger(3) = 0,0 mm/s



Verloop $v_{\text{effmax},30,i}$ voor meetpunt maaiveld van 21 juni t/m 22 juni. Alle trillingsbronnen.

Ch1: X, horizontaal richting dwars op het spoor

Ch2: Y, horizontaal evenwijdig aan het spoor

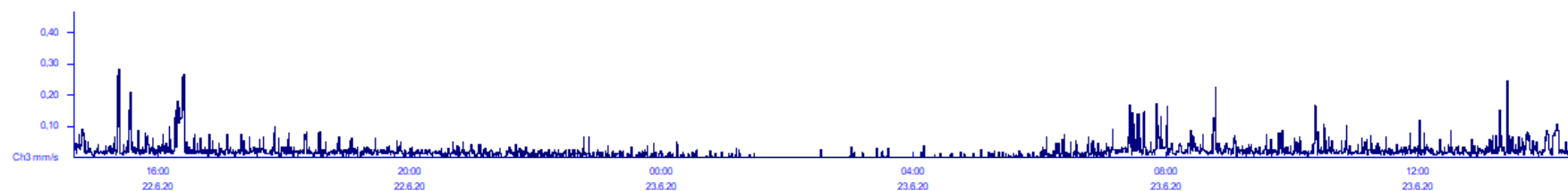
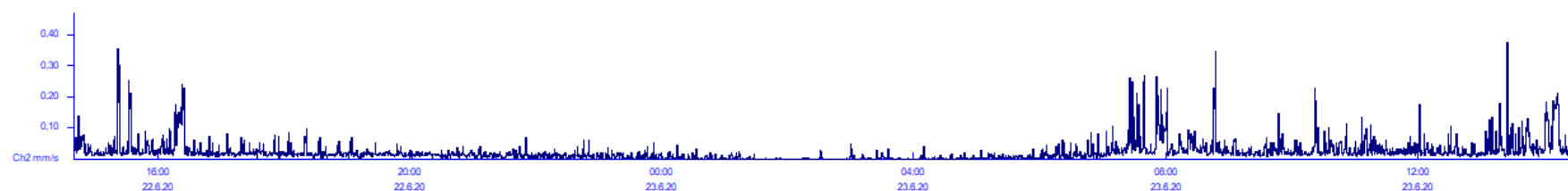
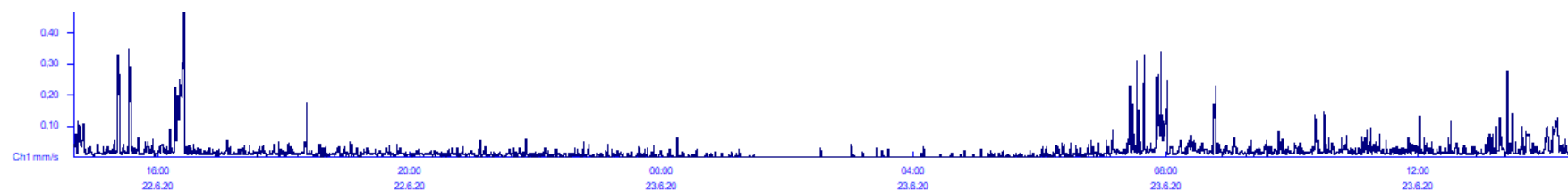
Ch3: Z, verticale trillingsrichting

File Name: ...Box\BMR\MT35\20174006.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: MT35_Best_achter-18200066

Start: 22.6.20 14:40
End: 23.6.20 14:39
Interval: 30 s

Max(1) = 0,468 mm/s
Max(2) = 0,378 mm/s
Max(3) = 0,282 mm/s

Trigger(1) = 0,0 mm/s
Trigger(2) = 0,0 mm/s
Trigger(3) = 0,0 mm/s



Verloop $v_{\text{effmax},30,i}$ voor meetpunt maaiveld van 22 juni t/m 23 juni. Alle trillingsbronnen.

Ch1: X, horizontaal richting dwars op het spoor

Ch2: Y, horizontaal evenwijdig aan het spoor

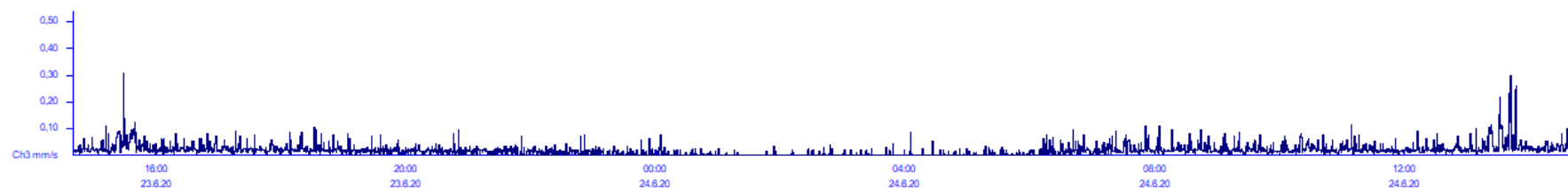
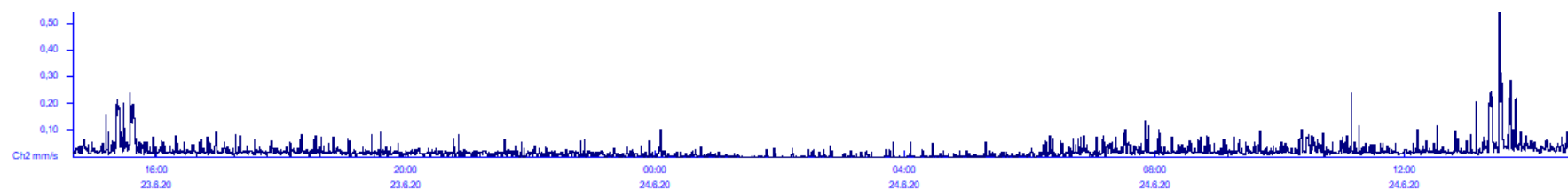
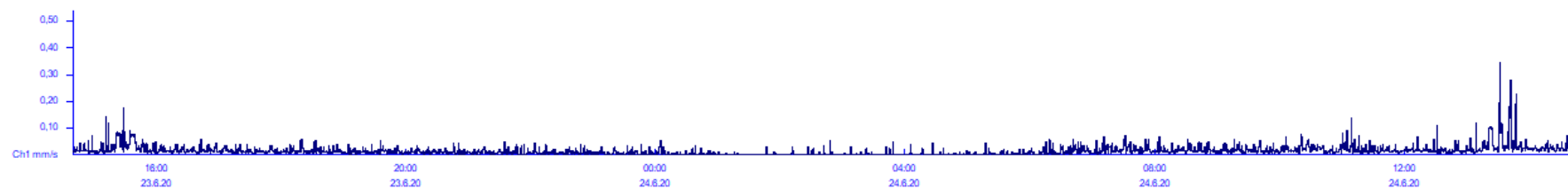
Ch3: Z, verticale trillingsrichting

File Name: ...Box\BMR\MT35\20175007.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: MT35_Best_achter-18200066

Start: 23.6.20 14:40
End: 24.6.20 14:39
Interval: 30 s

Max(1) = 0,345 mm/s
Max(2) = 0,540 mm/s
Max(3) = 0,309 mm/s

Trigger(1) = 0,0 mm/s
Trigger(2) = 0,0 mm/s
Trigger(3) = 0,0 mm/s



Verloop $v_{\text{effmax},30,i}$ voor meetpunt maaiveld van 23 juni t/m 24 juni. Alle trillingsbronnen.

Ch1: X, horizontaal richting dwars op het spoor

Ch2: Y, horizontaal evenwijdig aan het spoor

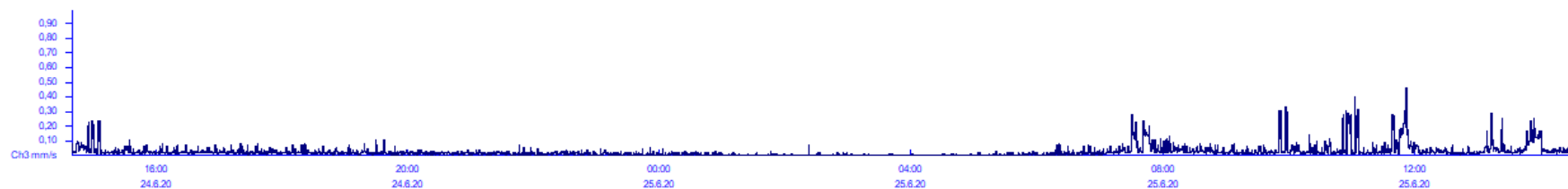
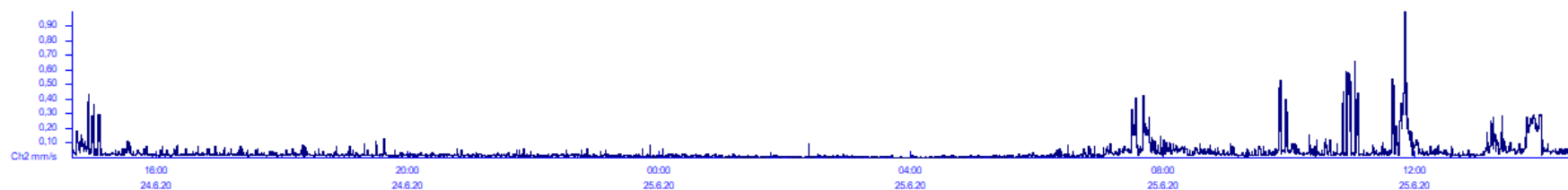
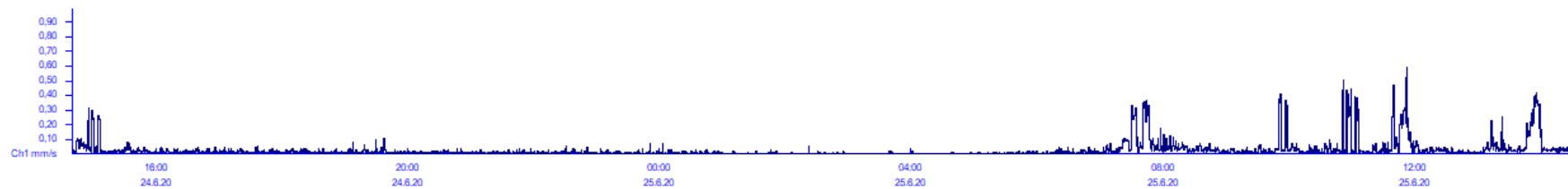
Ch3: Z, verticale trillingsrichting

File Name: ...Box\BMR\MT35\20176008.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: MT35_Best_achter-18200066

Start: 24.6.20 14:40
End: 25.6.20 14:39
Interval: 30 s

Max(1) = 0,590 mm/s
Max(2) = 0,993 mm/s
Max(3) = 0,487 mm/s

Trigger(1) = 0,0 mm/s
Trigger(2) = 0,0 mm/s
Trigger(3) = 0,0 mm/s



Verloop $v_{\text{effmax},30,i}$ voor meetpunt maaiveld van 24 juni t/m 25 juni. Alle trillingsbronnen.

Ch1: X, horizontaal richting dwars op het spoor

Ch2: Y, horizontaal evenwijdig aan het spoor

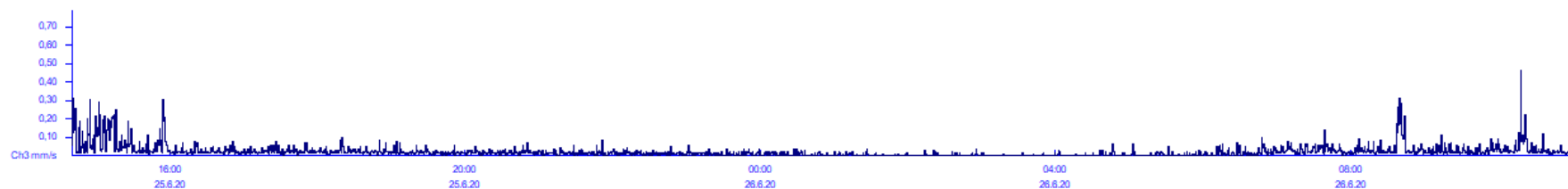
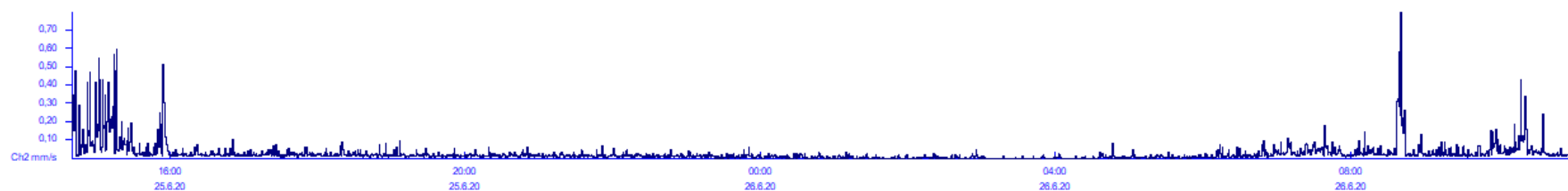
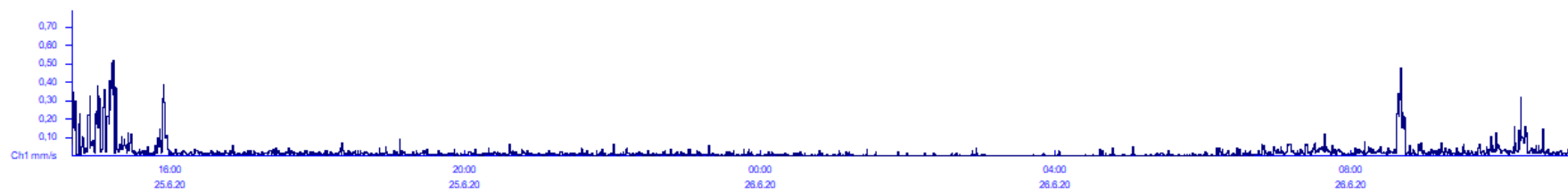
Ch3: Z, verticale trillingsrichting

File Name: ...Box\BMR\MT35\20177009.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: MT35_Best_achter-18200066

Start: 25.6.20 14:40
End: 26.6.20 11:08
Interval: 30 s

Max(1) = 0,521 mm/s
Max(2) = 0,793 mm/s
Max(3) = 0,467 mm/s

Trigger(1) = 0,0 mm/s
Trigger(2) = 0,0 mm/s
Trigger(3) = 0,0 mm/s



Verloop $v_{\text{effmax},30,i}$ voor meetpunt maaiveld van 25 juni t/m 26 juni. Alle trillingsbronnen.

Ch1: X, horizontaal richting dwars op het spoor

Ch2: Y, horizontaal evenwijdig aan het spoor

Ch3: Z, verticale trillingsrichting

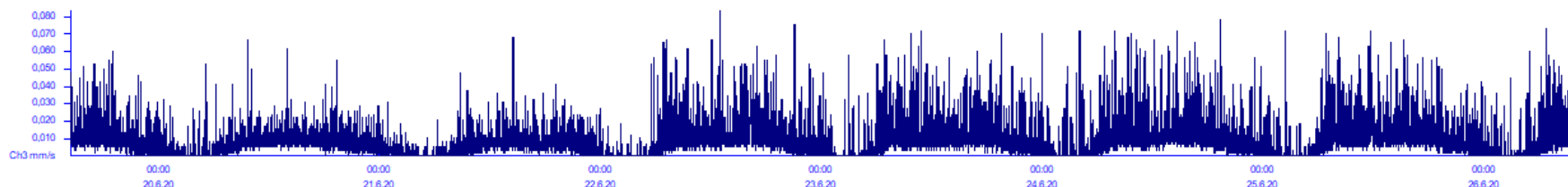
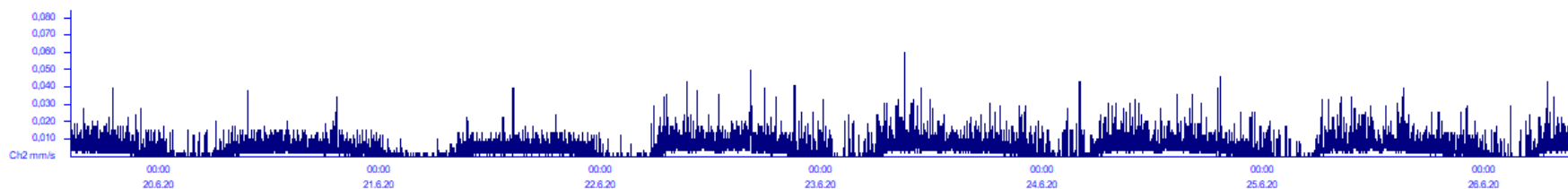
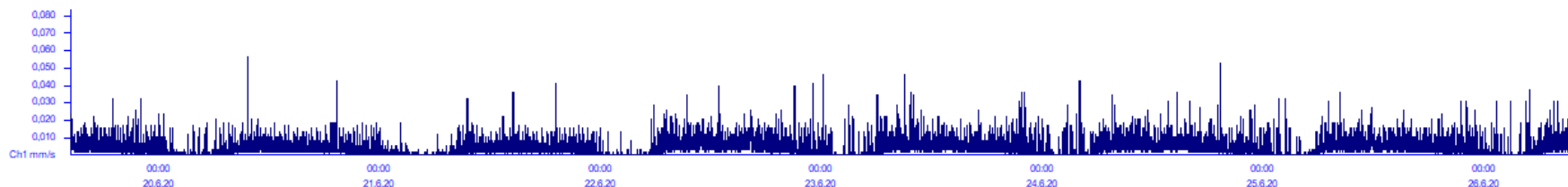
Meetpunt fundering

File Name: Concatenated Peak File
MR-Name: XMR2002
Station: MT36_Best_voor-18200069

Start: 19.6.20 14:28
End: 26.6.20 10:58
Interval: 30 s

Max(1) = 0,0564 mm/s
Max(2) = 0,0598 mm/s
Max(3) = 0,0837 mm/s

Trigger(1) = 0,0 mm/s
Trigger(2) = 0,0 mm/s
Trigger(3) = 0,0 mm/s



Verloop $v_{\text{effmax},30,i}$ voor meetpunt fundering van 19 juni t/m 26 juni. Alle trillingsbronnen.

Ch1: X, horizontaal richting dwars op het spoor

Ch2: Y, horizontaal evenwijdig aan het spoor

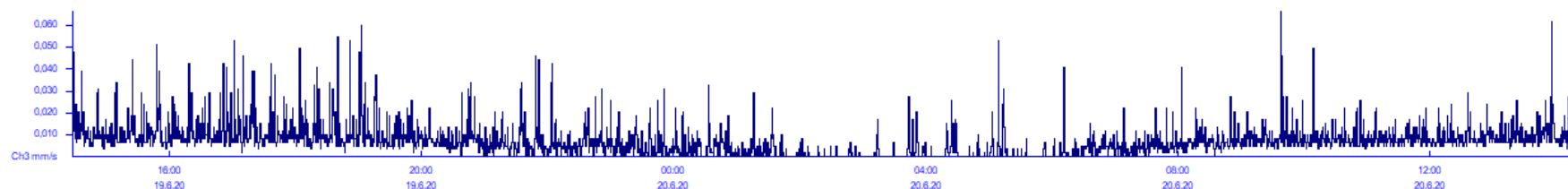
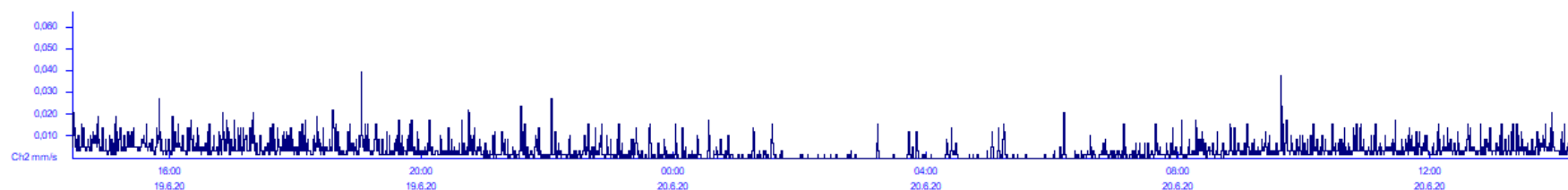
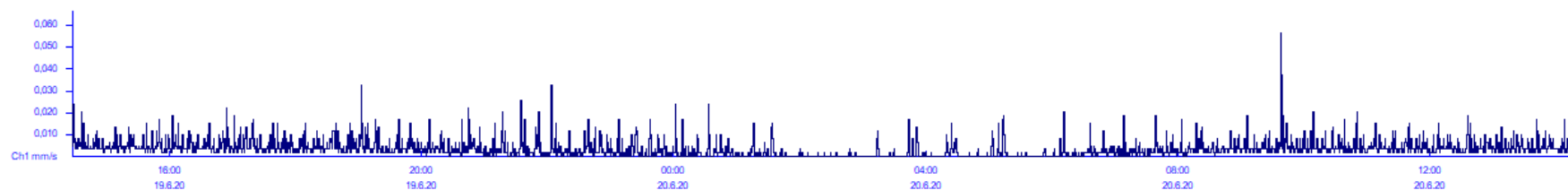
Ch3: Z, verticale trillingsrichting

File Name: ...Box\BMR\MT36\20171001.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: MT36_Best_voor-18200069

Start: 19.6.20 14:28
End: 20.6.20 14:27
Interval: 30 s

Max(1) = 0,0564 mm/s
Max(2) = 0,0393 mm/s
Max(3) = 0,0666 mm/s

Trigger(1) = 0,0 mm/s
Trigger(2) = 0,0 mm/s
Trigger(3) = 0,0 mm/s



Verloop $v_{\text{effmax},30,i}$ voor meetpunt fundering van 19 juni t/m 20 juni. Alle trillingsbronnen.

Ch1: X, horizontaal richting dwars op het spoor

Ch2: Y, horizontaal evenwijdig aan het spoor

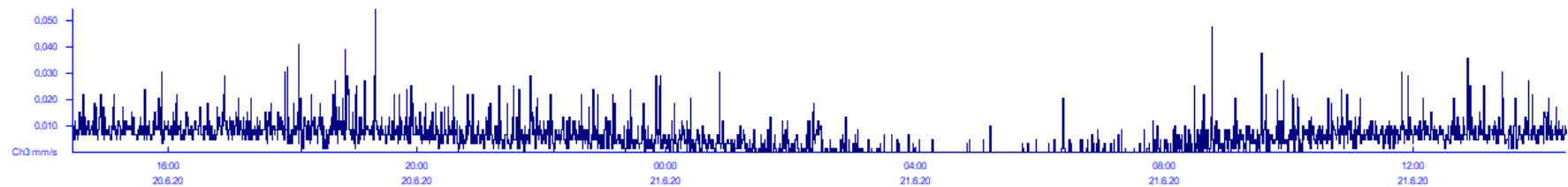
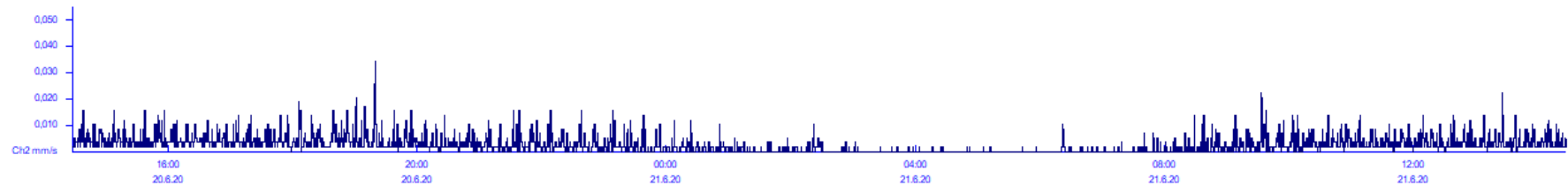
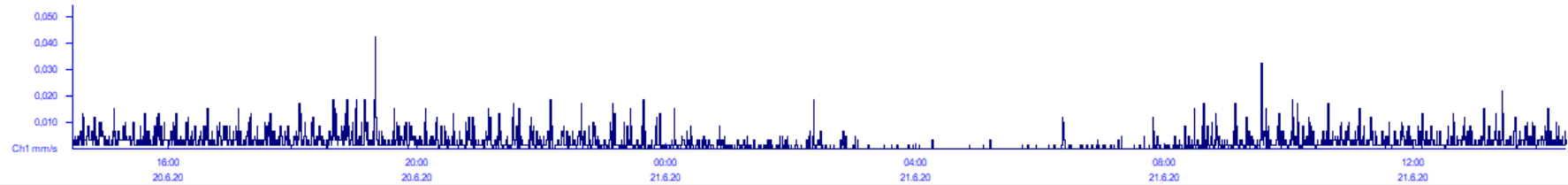
Ch3: Z, verticale trillingsrichting

File Name: ...Box\BMR\MT36\20172002.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: MT36_Best_voor-18200069

Start: 20.6.20 14:28
End: 21.6.20 14:27
Interval: 30 s

Max(1) = 0,0427 mm/s
Max(2) = 0,0342 mm/s
Max(3) = 0,0547 mm/s

Trigger(1) = 0,0 mm/s
Trigger(2) = 0,0 mm/s
Trigger(3) = 0,0 mm/s



Verloop $v_{\text{effmax},30,i}$ voor meetpunt fundering van 20 juni t/m 21 juni. Alle trillingsbronnen.

Ch1: X, horizontaal richting dwars op het spoor

Ch2: Y, horizontaal evenwijdig aan het spoor

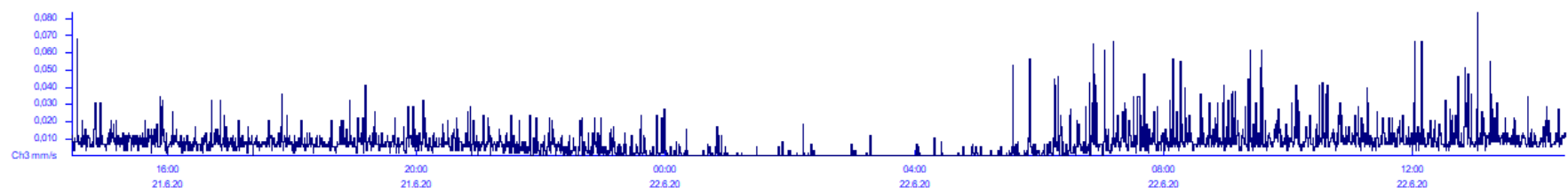
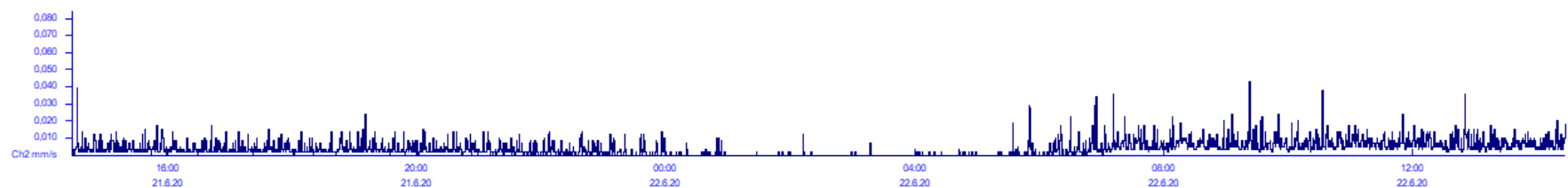
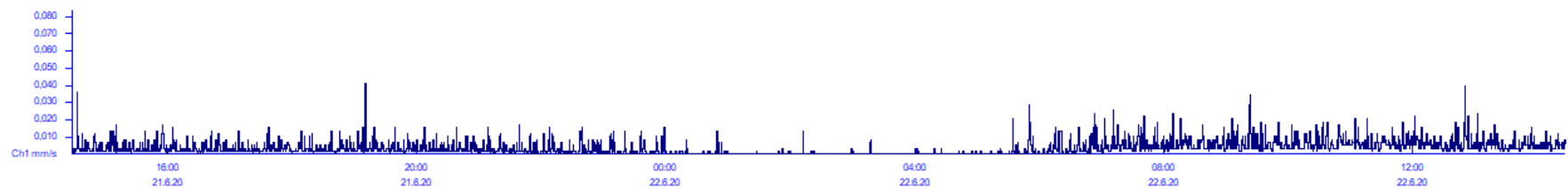
Ch3: Z, verticale trillingsrichting

File Name: ...Box\BMR\MT36\20173003.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: MT36_Best_voor-18200069

Start: 21.6.20 14:28
End: 22.6.20 14:27
Interval: 30 s

Max(1) = 0,0410 mm/s
Max(2) = 0,0427 mm/s
Max(3) = 0,0837 mm/s

Trigger(1) = 0,0 mm/s
Trigger(2) = 0,0 mm/s
Trigger(3) = 0,0 mm/s



Verloop $v_{\text{effmax},30,i}$ voor meetpunt fundering van 21 juni t/m 22 juni. Alle trillingsbronnen.

Ch1: X, horizontaal richting dwars op het spoor

Ch2: Y, horizontaal evenwijdig aan het spoor

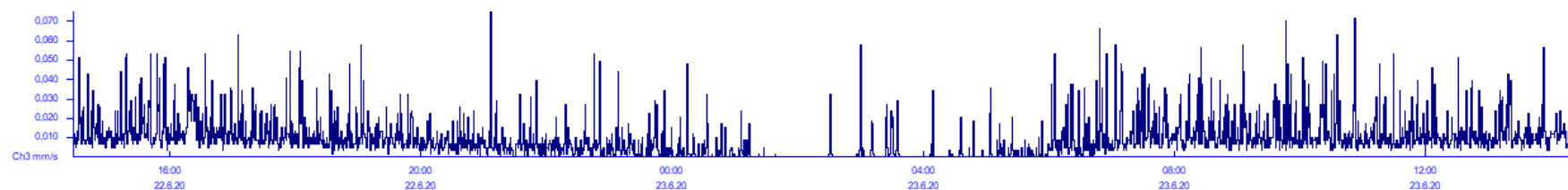
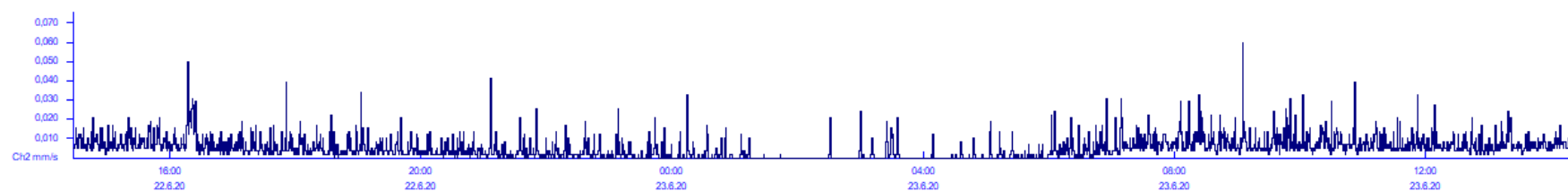
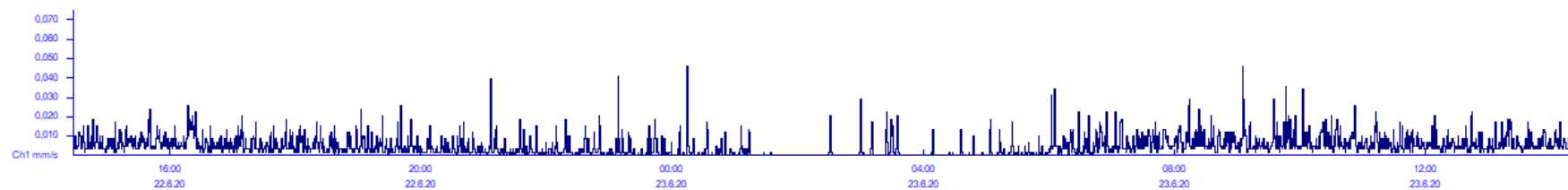
Ch3: Z, verticale trillingsrichting

File Name: ...Box\BMR\MT36\20174004.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: MT36_Best_voor-18200069

Start: 22.6.20 14:28
End: 23.6.20 14:27
Interval: 30 s

Max(1) = 0,0461 mm/s
Max(2) = 0,0598 mm/s
Max(3) = 0,0752 mm/s

Trigger(1) = 0,0 mm/s
Trigger(2) = 0,0 mm/s
Trigger(3) = 0,0 mm/s



Verloop $v_{\text{effmax},30,i}$ voor meetpunt fundering van 22 juni t/m 23 juni. Alle trillingsbronnen.

Ch1: X, horizontaal richting dwars op het spoor

Ch2: Y, horizontaal evenwijdig aan het spoor

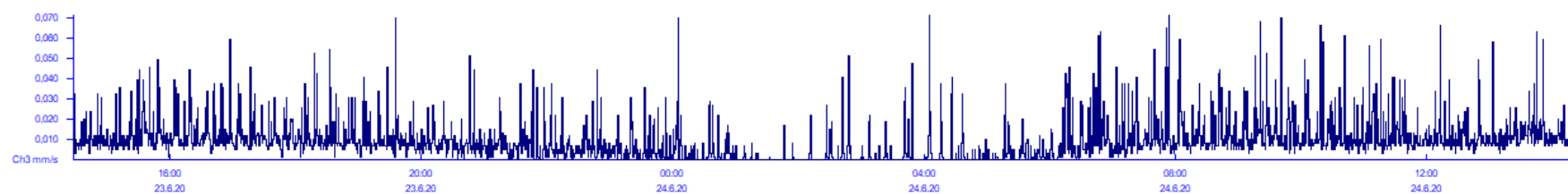
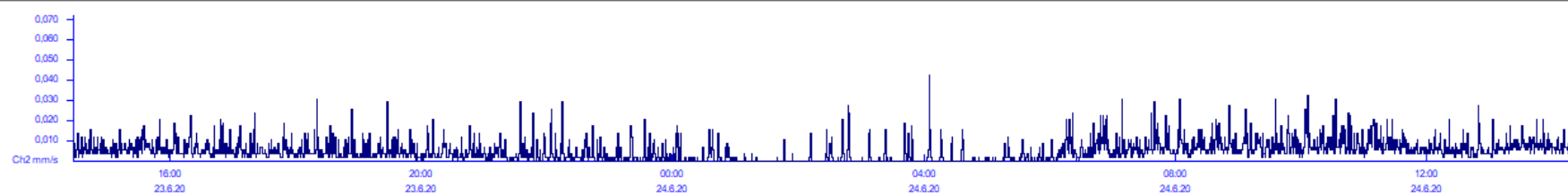
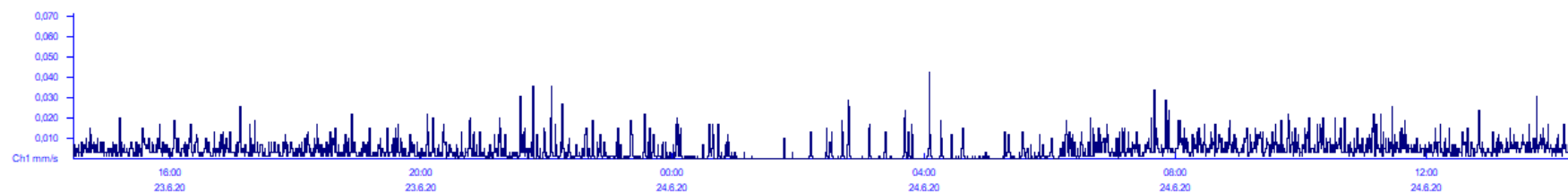
Ch3: Z, verticale trillingsrichting

File Name: ...Box\BMR\MT36\20175005.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: MT36_Best_voor-18200069

Start: 23.6.20 14:28
End: 24.6.20 14:27
Interval: 30 s

Max(1) = 0,0427 mm/s
Max(2) = 0,0427 mm/s
Max(3) = 0,0718 mm/s

Trigger(1) = 0,0 mm/s
Trigger(2) = 0,0 mm/s
Trigger(3) = 0,0 mm/s



Verloop $v_{\text{effmax},30,i}$ voor meetpunt fundering van 23 juni t/m 24 juni. Alle trillingsbronnen.

Ch1: X, horizontaal richting dwars op het spoor

Ch2: Y, horizontaal evenwijdig aan het spoor

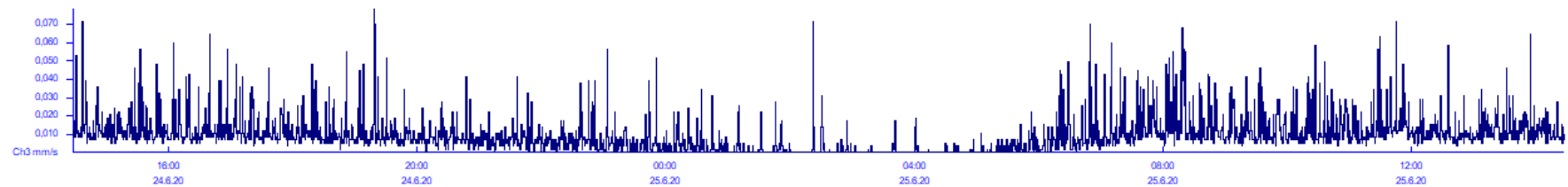
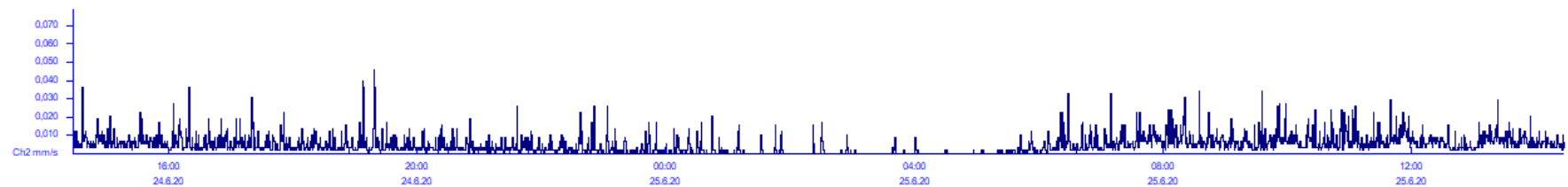
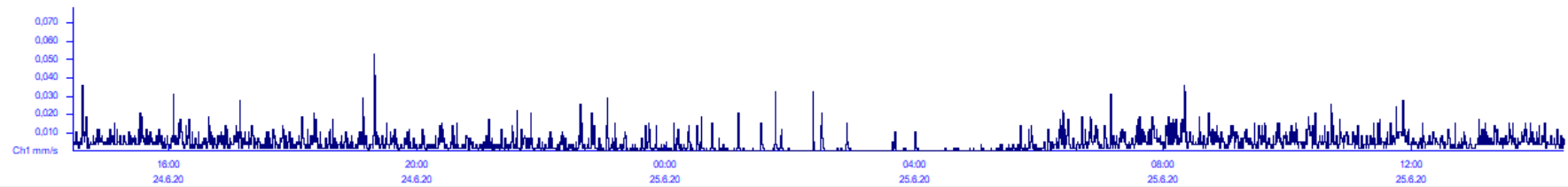
Ch3: Z, verticale trillingsrichting

File Name: ...Box\BMR\MT36\20176006.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: MT36_Best_voor-18200069

Start: 24.6.20 14:28
End: 25.6.20 14:27
Interval: 30 s

Max(1) = 0,0530 mm/s
Max(2) = 0,0461 mm/s
Max(3) = 0,0786 mm/s

Trigger(1) = 0,0 mm/s
Trigger(2) = 0,0 mm/s
Trigger(3) = 0,0 mm/s



Verloop $v_{\text{effmax},30,i}$ voor meetpunt fundering van 24 juni t/m 25 juni. Alle trillingsbronnen.

Ch1: X, horizontaal richting dwars op het spoor

Ch2: Y, horizontaal evenwijdig aan het spoor

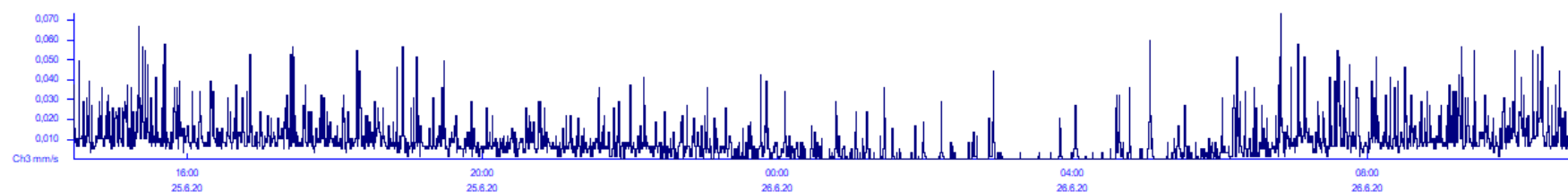
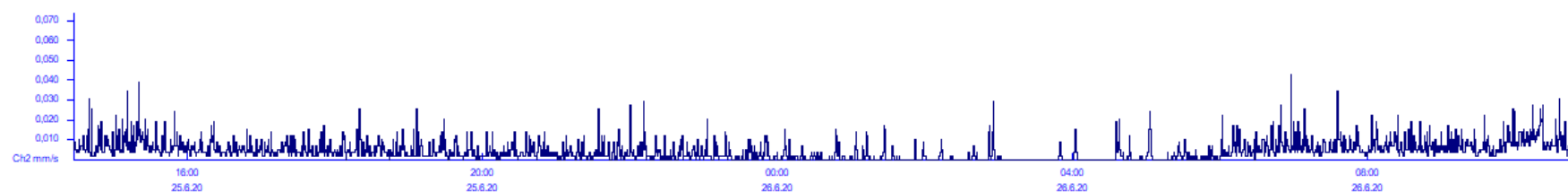
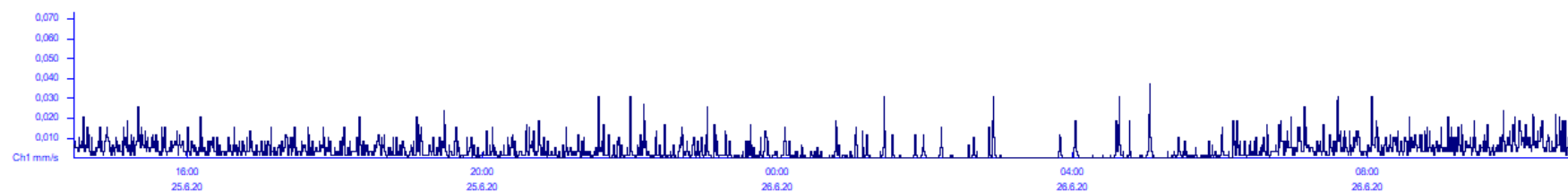
Ch3: Z, verticale trillingsrichting

File Name: ...Box\BMR\MT36\20177007.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: MT36_Best_voor-18200069

Start: 25.6.20 14:28
End: 26.6.20 10:58
Interval: 30 s

Max(1) = 0,0376 mm/s
Max(2) = 0,0427 mm/s
Max(3) = 0,0735 mm/s

Trigger(1) = 0,0 mm/s
Trigger(2) = 0,0 mm/s
Trigger(3) = 0,0 mm/s



Verloop $v_{\text{effmax},30,i}$ voor meetpunt fundering van 25 juni t/m 26 juni. Alle trillingsbronnen.

Ch1: X, horizontaal richting dwars op het spoor

Ch2: Y, horizontaal evenwijdig aan het spoor

Ch3: Z, verticale trillingsrichting